

L'INFLUENCE DES BIOCIDES SUR LA CONSERVATION DES *NATURALIA*

Mémoire présenté par : Aude-Laurence Pfister

Mentor : Jacques Cuisin

Pour l'obtention du Diplôme
des Hautes écoles spécialisées de Suisse Occidentale

Le 29 août 2008

Tout est poison, rien n'est poison...

PARACELSE (1493-1541)

L'influence des biocides sur la conservation des *naturalia*

Mémoire présenté par : Aude-Laurence Pfister

Mentor : Jacques Cuisin

Pour l'obtention du Diplôme
des Hautes écoles spécialisées de Suisse Occidentale

Le 29 août 2008

REMERCIEMENTS

Mes sincères remerciements à Jacques Cuisin (Chargé de Conservation des collections Mammifères et Oiseaux au Muséum national d'Histoire naturelle de Paris et mentor de ce mémoire) pour son aide, son soutien et ses encouragements tout au long de cette année, ainsi que pour ses nombreux conseils et remarques constructives.

Mes remerciements s'adressent également à toutes les personnes du Muséum – Jardin des Sciences de Dijon (MJSD) qui ont contribué à la réalisation de ce travail :

Gérard Ferrière (Conservateur-Directeur et responsable de stage) pour m'avoir ouvert les portes de ce musée, pour l'intérêt porté à ce travail de recherche et pour sa disponibilité,

Béatrice Remoissenet (Chargée des collections) pour avoir suivi de près la réalisation de ce mémoire, pour son aide, ses conseils et le temps consacré à de nombreuses discussions et visites d'autres musées d'histoire naturelle,

Agnès Fougeron (Conservatrice) ; Yves Mignotte (Chargé de mission en botanique) ; Monique Prost (Chargée des collections d'entomologie) ; Christophe Bridier et Marc Chautemps (Taxidermistes et techniciens), Isabelle Perrin et Dominique Mairet (du Service d'entretien) ; Thierry Langlais (Animateur) ; Arnaud Amar (Référént sécurité) ; Karine Lange, Odile Laudet et Catherine Ta (du Service administratif) ; Jacques Merle (Médecin retraité et bénévole) pour leur aide, nombreuses explications et diverses relectures,

ainsi qu'à tout le reste de l'équipe du musée pour son accueil chaleureux, sa bonne humeur et les agréables moments partagés tout au long de ce stage.

Je remercie infiniment François Clinard (Pharmacien épidémiologiste de l'Institut de veille sanitaire à la Cellule Inter-Régionale d'Epidémiologie (CIRE Centre-Est à Dijon) pour l'intérêt porté à cette étude, pour son enseignement, sa disponibilité et ses nombreux conseils face à un domaine d'étude nouveau pour moi.

Mes remerciements vont également à Frédéric Lirussi (Maître de conférences à l'université de Bourgogne et Praticien attaché au Laboratoire de Pharmacie-Toxicologie du CHU de Dijon), pour toute son aide, ses explications concernant la toxicologie et la pertinence de ses réflexions.

Je tiens aussi à remercier vivement André Picot (Toxicochimiste, Directeur de Recherche honoraire au CNRS) pour son aide, son ouverture, le partage de ses connaissances et les multiples éclaircissements apportés, ainsi que toutes les explications claires et structurées fournies.

Je remercie aussi toutes celles et ceux qui m'ont fourni leur aide, de précieuses informations et des références dans le domaine des *naturalia* et des toxiques :

Hélène Martin (Taxidermiste indépendante à La Norville) ; Frédéric Pautz (Directeur du Jardin botanique de Lyon) ; Armand Fayard et Vincent Poncet (Directeur et Chargé des collections du Muséum d'histoire naturelle de Grenoble) ; Christophe Gottini et Joël Minet (Taxidermiste et Entomologiste au Muséum national d'Histoire naturelle de Paris) ; Joël Clary et Philippe Lorain (Conservateurs au Musée des Confluences de Lyon) ; Jean-Paul Haenni et Martin Zimmerli (Conservateur adjoint-entomologiste et Taxidermiste du Muséum d'histoire naturelle de Neuchâtel) ; Gilles Pavy et Gilles Keller (Chargé des collections et Taxidermiste du Muséum d'histoire naturelle d'Auxerre) ; Fabien Fohrer (Technicien de recherche au CICRP de Marseille) ; Serge Masson et Clément Lenoir (Responsable et Agent de salubrité de la Station de désinfection de la ville de Dijon) ; Patrick Bersier (de la Société Désinfecta d'Yverdon) ; Didier Carminati, Dominique Galidie-Souman et Anne Mercey (Médecins du travail de la ville de Dijon) ; Frédérique Rosenfeld (Médecin du travail au Muséum national d'histoire naturelle de Paris) ; Catherine Cortésy (Bibliothécaire de la HEAA Arc de La Chaux-de-Fonds), Clotilde Tréhorel (du Service éducatif des Archives Municipales de Dijon) et toute l'équipe de la bibliothèque de l'Office de Coopération et d'Information Muséographiques (OCIM) à Dijon,

et merci à tous ceux qui n'apparaissent pas dans cette longue liste et qui ont contribué à l'achèvement de ce travail.

Parmi plusieurs personnes rencontrées lors d'un congrès à Berlin et spécialistes de ce domaine d'étude, je remercie tout particulièrement Amandine Péquignot (Maître de conférence au Centre de Recherche sur la Conservation des Collections (CRCC) et Muséum national d'histoire naturelle de Paris) pour son soutien et ses nombreux conseils, notamment lors de la mise en place d'analyses.

Mes remerciements vont également à Victoria Purewal (du Musée national de Wales) et Helene Tello (du Musée national d'ethnographie de Berlin) pour leur aide et précisions apportées.

Je remercie vivement Cong Khanh Huynh et Philippe Boiteux (Dr ès Sciences, Ing. Chimiste et Laborant médical principal de l'Institut universitaire romand de Santé au Travail (IST) à Lausanne) pour toute leur aide, le prêt de matériel de prélèvement et tout le temps et l'investissement consacré à la réalisation d'analyses de la qualité de l'air au MJSD.

Merci également à Jean Legouit et Sandrine Pierrat (Directeur technique et Responsable du pôle matériaux des laboratoires d'analyses industrielles FILAB à Chenôve) pour avoir effectué des analyses de poussière et pour la qualité du rapport présenté.

Mes remerciements aux professeurs de la HEAA Arc de La Chaux-de-Fonds : Nathalie Ducatel, Christian Binet, Valentin Boissonnas, Tobias Schenkel, Thierry Jacot, Eléonore Kissel et plus particulièrement à Alexis Domjan pour toutes les explications données concernant la chimie.

Je remercie aussi Karen Vallée (conservatrice-restauratrice à La Chaux-de-Fonds, spécialisée dans le domaine des *naturalia*) pour ses conseils, son aide et son accueil chaleureux dans cette froide « Chaux-de-Fonds ».

Enfin, le plus grand des mercis à ma famille et amis : mon père pour les quelques heures de patience au téléphone, les nombreuses relectures et conseils promulgués ; ma mère pour son écoute, sa disponibilité et sa vivacité ; Linou pour son accueil et les quelques « échappées de ce mémoire » partagées ; Charles-Edouard pour sa traduction ; Cyril, Sylvain, Héloïsa, Martin, Elsa, Stefanie, Kim, Jon... et les « dijonnaises » Anne-Laure et Judith pour leur aide et leur présence...

puis Lisbeth Salander et Mikael Blomkvist ; Dikanda et Bénabar « A notre santé » pour ces moments d'évasion !

Et le meilleur des Mercis à Anouk et Noémie...

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	1
SOMMAIRE	4
RESUME	7
ABSTRACT	9
AUSZUG	10
INTRODUCTION	12
INTRODUCTION GENERALE AU SUJET	12
OBJECTIFS ET METHODOLOGIE	13
BREF HISTORIQUE DE LA RECHERCHE	14
NOTE SUR LES MATERIAUX DANGEREUX ET LEUR ORIGINE	14
1. LES BIOCIDES	17
1.1. DESCRIPTION ET HISTOIRE D'UTILISATION	17
1.1.1. Composés inorganiques	19
1.1.2. Composés organiques	21
1.1.3. Fumigants divers	28
1.1.4. Note sur les spécimens en fluide	29
1.1.5. Synthèse	30
1.2. MISE EN EVIDENCE ET METHODES D'IDENTIFICATION	31
1.2.1. Recherches préliminaires et observations	32
1.2.2. Tests microchimiques	33
1.2.3. Analyses instrumentales	35
1.2.4. Synthèse	39
2. LES EFFETS DES BIOCIDES	40
2.1. EFFETS SUR L'ORGANISME	40
2.1.1. Notions générales de toxicologie	40
2.1.2. Toxicité de quelques biocides résiduels	47
2.1.3. Évaluation des risques sanitaires	51
2.1.4. Évaluation des risques et épidémiologie dans les musées	53
2.1.5. Synthèse	54
2.2. EFFETS SUR LES MATERIAUX CONSTITUTIFS DES SPECIMENS	55
2.2.1. Biocides inorganiques	56
2.2.2. Biocides organiques	58
2.2.3. Spécimens en fluide	61

2.2.4.	Note sur la conservation/dégradation de l'ADN	62
2.2.5.	Synthèse	63
3.	LA GESTION DES BIOCIDES.....	65
3.1.	MESURES DE SECURITE ET EQUIPEMENTS DE PROTECTION	65
3.1.1.	Première mesure de sécurité	66
3.1.2.	Protections collectives et individuelles	66
3.1.3.	Conduites à tenir dans les collections	71
3.2.	METHODES DE DECONTAMINATION DES <i>NATURALIA</i>	75
3.2.1.	Décontamination de l'environnement et des supports des spécimens.....	76
3.2.2.	Méthodes de traitements mécaniques.....	77
3.2.3.	Procédures thermiques.....	78
3.2.4.	Traitements par lyophilisation.....	79
3.2.5.	Traitements au laser	79
3.2.6.	Méthodes de traitements chimiques	80
3.2.7.	Méthodes de traitements biologiques	82
3.2.8.	Synthèse	82
3.3.	NOTE SUR L'UTILISATION ACTUELLE DE BIOCIDES	84
4.	ETUDE DE CAS : LE MUSEUM DE DIJON	85
4.1.	PRESENTATION DU MUSEE ET DE SES COLLECTIONS.....	85
4.1.1.	Histoire et lieux	86
4.1.2.	Les collections	88
4.2.	MISE EN EVIDENCE ET IDENTIFICATION DE BIOCIDES RESIDUELS.....	91
4.2.1.	Recherches en archives et enquêtes.....	91
4.2.2.	Observations visuelles de traces physiques.....	97
4.2.3.	Étude de la contamination des collections par des biocides inorganiques	99
4.3.	DONNEES RELEVES EN VUE D'UNE EVALUATION DE RISQUES	109
4.3.1.	Scénarios d'exposition aux biocides	109
4.3.2.	Étude préliminaire de la qualité de l'air	114
4.4.	SYNTHESE	121
	CONCLUSION	122

DOCUMENTATION	124
LISTE DES REFERENCES NON PUBLIEES	124
LISTE DES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	127
LISTE DES FIGURES	143
LISTE DES TABLEAUX	144
LISTE DES ABREVIATIONS	144
LISTE DES ANNEXES	146
ANNEXES	147
ANNEXE 1 – LISTE DE BIOCIDES. DESCRIPTIONS	147
ANNEXE 2 – LISTE DE BIOCIDES. DESCRIPTIONS, CLASSIFICATIONS ET SYNONYMES	153
ANNEXE 3 – TESTS MICROCHIMIQUES	162
ANNEXE 4 – LISTE D'ORGANISMES RELATIFS A LA TOXICOLOGIE, LA SECURITE ET L'HYGIENE INDUSTRIELLE	166
ANNEXE 5 – SPECIMENS PEDAGOGIQUES	168
ANNEXE 6 – EXEMPLES DE LISTES DE DEPENSES ET QUITTANCE D'ACHAT DU MJSD	170
ANNEXE 7 – RESULTATS D'ANALYSES DE POUSSIÈRES	173
ANNEXE 8 – DONNEES ET RESULTATS D'ANALYSES DE LA QUALITE DE L'AIR	185

RESUME

La présence de pesticides utilisés dans les collections d'histoire naturelle pour les protéger des nuisibles peut entraîner des problèmes de santé pour les personnes qui y sont exposées, ainsi que différents effets sur les matériaux constitutifs des spécimens.

Cette étude a pour but de présenter l'influence des biocides sur la conservation des *naturalia* composés de matériaux organiques, qualifiés de « spécimens composites complexes ». Il s'agit principalement des vertébrés, des insectes, des collections d'herbiers et des spécimens en fluide.

Nous décrivons, en premier lieu, l'histoire et les modes d'utilisation des biocides au sein de ces collections. Dans ce cadre, ces composés ont pour particularité de servir aussi à d'autres fins qu'à la conservation des spécimens ; il s'agit également de fixatifs et/ou de préservatifs qui entrent dans les processus de fabrication des spécimens. La quantité et la diversité de produits et méthodes d'application nous ont amenés à ne considérer que ceux qui étaient ou sont le plus fréquemment employés, tels les composés à base d'arsenic ou de mercure, les produits organiques comme le DDT, le lindane, le DDVP, les pyréthrinoides, ou encore les traitements par fumigation à l'aide de disulfure de carbone ou de formaldéhyde.

L'utilisation de pesticides dans les musées n'étant généralement pas ou très peu documentée, il convient d'effectuer des recherches afin de les mettre en évidence et de les identifier au sein des collections. Les méthodes et moyens à disposition des professionnels sont décrits. Ce type d'investigation passe généralement par des prospections en archives, ainsi que par un travail d'enquêtes. Des tests microchimiques et/ou des analyses instrumentales sont habituellement nécessaires pour compléter et étayer les premières informations recueillies.

La persistance des biocides résiduels pouvant entraîner des effets sur la santé des personnes en contact avec ceux-ci, il est donc important de s'intéresser à leur toxicité. Celle-ci varie selon les caractéristiques physico-chimiques du produit, la dose absorbée, la durée d'exposition, le caractère cumulatif lié à la dose ou aux effets, la voie de pénétration, mais aussi aux paramètres liés à la personne elle-même (état, aptitudes métaboliques, autres produits introduits dans l'organisme). À noter que les composés classés CMR (cancérogène, mutagène, reprotoxique) sont à prendre en considération en priorité. Une évaluation de risques sanitaires permet de quantifier la probabilité de survenue de problèmes selon différents scénarios d'exposition ; ce type d'étude étant principalement basé sur des données toxicologiques et épidémiologiques.

Ce travail présente également les connaissances actuelles concernant les effets que peuvent avoir les biocides sur les matériaux constitutifs des spécimens. Qu'il s'agisse d'actions conservatives ou destructives,

ces données sont généralement peu détaillées car elles proviennent, pour la plupart, d'observations visuelles. Toutefois, quelques auteurs ont développé des recherches, notamment au sujet de l'influence de certains pesticides sur l'ADN. Nous constatons par ailleurs que la présence de ces produits peut interférer avec certaines études scientifiques spécifiques.

Face aux problèmes que posent ces composés chimiques, la dernière partie théorique de cette étude vise à exposer la manière dont peuvent être gérées les collections contaminées.

Il apparaît tout d'abord important que les professionnels et leurs responsables puissent être informés des dangers et des mesures de sécurité à appliquer. Aussi, les différents équipements de protection collective et individuelle, ainsi que les conduites à tenir sont passés en revue en fonction des domaines d'activité dans les muséums.

Concernant les possibilités d'action au niveau des collections, nous abordons la problématique de la décontamination des spécimens d'un point de vue technique et éthique. Les méthodes de traitement présentées ne permettent que des détoxifications partielles ou sont encore en cours d'étude et, à l'heure actuelle, non applicables aux *naturalia* ou autres objets culturels. De plus, l'aspect éthique de la conservation-restauration nécessite de prendre en compte la particularité de ces collections – constituées de matériaux composites complexes.

Le quatrième volet de ce travail développe une étude de cas réalisée au Muséum – Jardin des Sciences de Dijon (MJSD) en France.

Des recherches en archives et une série d'enquêtes et d'observations ont permis de retracer partiellement l'histoire et les modes d'utilisation de biocides dans ce muséum. De manière générale, les données recueillies correspondent à ce qui a pu être fait dans d'autres muséums du XIX^e au XXI^e siècle. Par la suite, la réalisation d'analyses MEB-EDX a notamment confirmé la présence d'arsenic et de mercure dans les collections de mammifères et d'oiseaux, ainsi que dans les réserves de botanique.

Les bases préalables à une évaluation de risques sanitaires face à la présence de ces produits toxiques ont été établies. Enfin, une étude préliminaire de la qualité de l'air dans quelques locaux du MJSD a permis d'analyser certains composés organiques volatiles par chromatographie (GCMS et HPLC). Celle-ci révèle principalement que la présence de formaldéhyde, dans des lieux non accessibles au public, se trouve à un taux supérieur aux valeurs d'exposition admissibles. Aussi, des mesures de sécurité ont été préconisées. Une fois mises en application, de nouvelles quantifications devront être réalisées afin de s'assurer de leur efficacité.

Nous concluons de ce travail que l'étude des biocides dans les collections de musées implique une collaboration entre spécialistes de différents domaines (professionnels de musées, chimistes, médecins du travail, toxicologues, épidémiologistes, hygiénistes industriels...).

Nous mettons également l'accent sur l'importance de la diffusion des informations, tant pour faire progresser la recherche, que pour prévenir l'éventualité de risques d'intoxication.

Enfin, il convient de remarquer que, dans la mesure du possible, la mise en œuvre de traitements chimiques pour lutter contre les nuisibles doit être évitée et, dans le cas contraire, documentée.

ABSTRACT

The presence of biocides in the process of protecting natural history collections from pest attacks can lead to health problems and can also have effects on the materials of specimen.

This essay attempts to study the influence of pesticides on the conservation of *naturalia*, which are made of composite organic materials. This mainly includes vertebrates, insects, herbarium collections and specimen in fluids.

The history and methods of application of biocides in natural history collections are first presented in this essay. In this case, some of these chemicals not only serve as conservation products, but also as fixatives and preservatives, which means they are part of the fabrication process of specimen. For example, we describe the pesticides composed of arsenic and mercury ; the organic chemicals such as DDT, lindane, DDVP, pyrethroids ; and fumigation treatments using carbon disulfide and formaldehyde.

As there are usually very few records on pesticides use and past museum practises, recherche – stored data and interviews – and analyses are necessary to identify and study biocides in collections.

Persistence of biocides residues can lead to health problems for people in contact with theses chemicals. Therefore, we discuss their toxicity and risk assessment.

We also present the effects of pesticides on conservation or degradation of specimen materials.

The last theoretical part of this study attempts to state what to do with these contaminated collections.

Firstly, it is important that professionals be informed of health hazards and how to mitigate risks. Some security measures and protection equipments are presented.

Secondly, we discuss the question of specimen detoxication from technical and ethical points of view. At that time, these treatments allow only partial decontamination and need further studying.

Finally we present a practical situation in the *Muséum – Jardin des Sciences de Dijon* in France.

History and methods of application of biocides in this museum were partly discovered through archival researches and interviews. It appears that these results are mostly similar to what has been done in other museums from the XIX^e to the XXI^e centuries. SEM-EDS analysis could also confirm the presence of arsenic and mercury in two collections.

The first basis of a risk assessment study has been established : we list the different scenario of exposure. We also evaluated the air quality in a few rooms through the analysis of volatile organic compounds and aldehydes (GCMS and HPLC). It appeared that, in some places (not opened to public) formaldehyde is present in important quantities. Therefore, we proposed simple security measures.

To conclude this essay, we note that the research about biocides in museum's collections involve the collaboration between specialists.

It is also important to add that chemical treatments for pest management should be avoided and when this is not possible, they have to be documented.

AUSZUG

In dieser Arbeit wird der Einfluss von Bioziden auf die Konservierung von *Naturalia*, die aus organischen Materialien zusammengesetzt sind, untersucht. Im Einzelnen wird hier auf Wirbeltiere, Insekten, Herbarien und Naßpräparate eingegangen.

Besonders hervorgehoben werden im folgenden auch die Gesundheitsrisiken, denen Mitarbeiter aus musealen Sammlungen im Umgang von mit Bioziden belasteten Naturalien ausgesetzt sind. Die folgende Untersuchung setzt sich aus insgesamt vier Teilen zusammen.

Im ersten Teil werden die unterschiedlichen Substanzen, die als Biozide zum konservatorischen Schutz in Sammlungen angewandt wurden, vorgestellt. Die gebräuchlichsten Biozide, wie beispielsweise Arsen, Quecksilber, DDT, Lindan, DDVP, Pyrethroide, Schwefelkohlenstoff und Formaldehyd werden ausführlich dargestellt. Einige dieser chemischen Substanzen wurden auch als Fixative und zur Konservierung für die Herstellung von Präparaten angewandt.

In Museum existiert häufig ein erheblicher Mangel an Dokumentation über die vormalig ausgebrachten Methoden zur Schädlingsbekämpfung und Konservierung von Exponaten und Präparaten. Deshalb werden verschiedene Möglichkeiten und analytische Methoden, mit denen Biozide identifiziert werden können, vorgestellt.

Chemische Substanzen, die Biozide enthalten, haben unterschiedliche Nebenwirkungen. Von großer Dringlichkeit sind die Aspekte der Hygiene und Gesundheit im Umgang mit Bioziden. Darüber hinaus gibt es andere Auswirkungen, die die Sammlungen selbst betreffen. Tatsächlich können Biozide mit der Zeit Materialien schädigen. Dies kann sich auch negativ auf wissenschaftliche Beobachtungen und Untersuchungen auswirken. Dieser Themenbereich wird im zweiten Teil behandelt.

Der dritte Teil beschäftigt sich mit durch Biozide verunreinigten Sammlungen und den Möglichkeiten letztere zu behandeln. Zum einen werden Methoden und Ausrüstungen für den sicheren Umgang von mit Bioziden belasteten Sammlungen dargestellt. In einem weiteren Schritt werden technische und ethische Aspekte der Dekontamination von Sammlungen diskutiert.

Der theoretische Teil dieser vorliegenden Arbeit befindet sich in den ersten drei Abschnitten. Im vierten und letzten Teil wird in einem Fallbeispiel das *Muséum – Jardin des Sciences de Dijon* (MJSD) in Frankreich vorgestellt. Die Geschichte der dort angewandten Methoden und zur Anwendung gekommenen Substanzen zur Konservierung von *Naturalia* wird, soweit es die Dokumentation am MJSD zulässt, aufgezeigt. Ergänzend konnte mit Hilfe der Raster-Elektronen-Mikroskopie (REM) die Anwesenheit von Arsen und Quecksilber in zwei Sammlungen bestätigen werden.

Erste Analysen der Raumluft in den Depots des MJSD, durchgeführt mit der Gaschromatographie und der Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (GCMS und HPLC), haben gezeigt, dass es hohe Belastungen durch Formaldehyd und andere organische flüchtige Verbindungen gibt. Diese Depots sind für den Besucherverkehr nicht zugänglich. Hier werden einfache Massnahmen zur Verbesserung des Raumklimas vorgeschlagen.

Es wird empfohlen chemischen Behandlungen von Sammlungsobjekten und Präparaten möglichst auszuweichen und sämtliche zur Anwendung gekommenen Maßnahmen lückenlos zu dokumentieren.

Abschließend wird darauf hingewiesen, dass weitergehende Forschungsarbeiten über die in Museen angewandten Biozide interdisziplinär von den unterschiedlichsten Spezialisten und Berufsgruppen vorangetrieben werden sollten.

INTRODUCTION

INTRODUCTION GENERALE AU SUJET

Les collections de musées rassemblant des objets constitués de matériaux organiques sont susceptibles de subir des dégradations suite à des attaques biologiques dues à l'action de microorganismes, d'insectes et de petits vertébrés.

Au cours du temps, différents traitements ont donc été mis en place pour prévenir et lutter contre ces contaminants. Une des méthodes consiste à utiliser des produits que l'on qualifie de « biocides ». Ce terme signifie étymologiquement « qui tue la vie »¹ et regroupe différents pesticides, tels que les bactéricides, les fongicides, les insecticides et les rodenticides. Certains de ces produits toxiques sont susceptibles de persister au sein des collections même longtemps après leur application.

Aussi, la présence de biocides résiduels dans les musées peut poser des problèmes de santé pour les personnes amenées à être en contact avec ceux-ci. De plus, ces produits ont également une action sur les matériaux constitutifs des collections, qu'elle soit conservatrice ou destructrice.

Au vu de cette problématique, il apparaît nécessaire d'identifier et d'étudier les résidus de pesticides au sein des collections. Il s'agit non seulement d'une étape préalable et indispensable en vue d'une évaluation des risques sanitaires ; mais également de données qui servent à élargir la connaissance sur les objets et les traitements qu'ils ont subis. Ces informations sont notamment utiles dans le cadre de recherches scientifiques spécifiques et d'interventions de conservation-restauration dont les résultats peuvent être influencés par la présence de ces produits.

Ce travail, adressé aux professionnels de muséums, s'intéresse aux collections d'histoire naturelle, dites « naturalia », essentiellement composées de matériaux organiques en raison d'une plus forte probabilité pour celles-ci d'être contaminées par des biocides.

Il s'agit principalement des vertébrés, des insectes, des herbiers et des spécimens² en fluides. Ils sont constitués de matériaux composites complexes divisés en trois catégories. Les matériaux primaires correspondent aux animaux ou aux plantes à leur état naturel (collagène, kératine, chitine, cellulose...). Les matériaux secondaires sont les éléments et produits qui ont servi à la préparation et la préservation des spécimens, ainsi qu'à leur montage ou naturalisation. Ceux-ci sont extrêmement variés et comprennent les produits de préservation des peaux, les matériaux de bourrage ou remplissage, les matériaux de modelage des tissus mous, les supports et éléments de fixation, des surfaces peintes, etc. Enfin, les matériaux tertiaires s'apparentent aux éléments et produits de conservation-restauration.

¹ *Le nouveau Petit Robert de la langue française*, 2007, v° biocide.

² Ce terme s'applique aux « objets » d'histoire naturelle.

Il convient donc ici de distinguer les termes « préserver » et « conserver ». Ce dernier indiquant une action « supplémentaire » ou ultérieure à la préparation des spécimens³.

Afin de présenter l'influence des biocides sur la conservation des *naturalia*, nous nous proposons tout d'abord de passer en revue quelques uns des principaux pesticides utilisés dans les muséums afin de les décrire et d'exposer leur période et mode d'utilisation. La stratégie de mise en évidence de ces produits, ainsi que les méthodes d'identification sont également développées.

Le second chapitre formule brièvement les effets des biocides sur l'homme en terme de toxicité. À ce titre, nous définissons quelques notions de toxicologie et expliquons les différentes étapes de l'évaluation de risques sanitaires. L'état des connaissances sur les effets des pesticides sur les matériaux constitutifs des spécimens est également discuté.

Face aux problèmes que posent ces composés chimiques, la dernière partie théorique de cette recherche consiste à exposer la manière dont peuvent être gérées les collections contaminées. Il apparaît tout d'abord important que les professionnels de musée puissent être informés des dangers et des mesures de sécurité à appliquer. De plus, concernant les possibilités d'action au niveau des collections, nous abordons la problématique de la décontamination des spécimens d'un point de vue technique et éthique.

Enfin, l'exemple du Muséum - Jardin des Sciences de Dijon (MJSD) en France – lieu d'accueil pour la réalisation de cette recherche – est développé.

OBJECTIFS ET METHODOLOGIE

Ce travail de recherche ayant notamment pour objectif de présenter l'état actuel des connaissances sur la question des biocides dans les collections d'histoire naturelle, la littérature provenant du domaine des collections de musée, de la conservation-restauration et de la toxicologie a été étudiée. Cette problématique touche, de manière plus large, l'ensemble des artefacts constitués de matériaux organiques. Aussi, diverses sources traitant du patrimoine ethnographique, anthropologique, des documents graphiques et des *naturalia* ont été consultées. De plus, une série d'entretiens avec des professionnels de différents domaines ont permis d'éclairer ces données bibliographiques.

Dans un second temps, le but de cette étude consistait à effectuer une évaluation des risques sanitaires au

³ Cette notion de la « conservation » correspond à la définition donnée par l'ICOM (Conseil international des musées). D'après Reid, 1994, p.28.

MJSD. En d'autres termes, il s'agissait de chercher à apprécier les risques encourus par différentes personnes dans ce musée face à la présence de biocides résiduels. Toutefois, ce travail s'est avéré irréalisable dans le cadre de ce mémoire de fin d'études. En effet, ce type d'évaluation nécessite la collaboration de différents spécialistes en toxicologie, épidémiologie, métrologie et médecine du travail, plus de temps, donc de moyens financiers.

Ainsi, nous tentons de poser les bases nécessaires à la mise en place d'une telle étude en appliquant les méthodes exposées dans la partie théorique.

BREF HISTORIQUE DE LA RECHERCHE

L'étude des biocides résiduels dans les collections de musées remonte au milieu des années 1970. L'intérêt pour cette problématique est essentiellement lié à la question de l'hygiène et de la sécurité des personnes qui manipulent ces objets contaminés⁴.

Des groupes et instituts de différents pays travaillent sur ce sujet. Aux États-Unis, les recherches sont multipliées depuis 1990, date de l'application du *Native American Graves Protection and Repatriation Act (NAGPRA)* qui implique la restitution d'objets aux collectivités autochtones et à des particuliers⁵. Aussi, dans ce cadre, l'utilisation des artefacts diffère-t-elle des manipulations habituelles au sein des musées⁶.

Mentionnons également qu'une équipe du groupe de travail sur les collections ethnographiques de l'ICOM (Conseil international des musées) a pour projet d'élaborer une base de données touchant aux différents thèmes de recherche sur les pesticides (*Pesticide Database Project*). Certains muséums – par le biais du groupe de travail sur les collections d'histoire naturelle de l'ICOM – ont participé à leurs premières prospections⁷.

NOTE SUR LES MATERIAUX DANGEREUX ET LEUR ORIGINE

Avant d'entrer dans le vif du sujet, il apparaît important de noter que les biocides ne sont pas les seules sources de danger dans les collections d'histoire naturelle. On distingue les dangers inhérents aux spécimens de ceux qui surviennent postérieurement à leur préparation (produits de dégradation, traitements de conservation-restauration) ; qu'ils soient physiques, chimiques, biologiques ou qu'il s'agisse

⁴ Odegaard *et al*, 2006, p.87.

⁵ En 1996, un amendement à cette loi implique l'obligation d'informer les personnes concernées des produits dangereux contenus dans les objets. D'après Odegaard *et al*, 2006, p.42.

⁶ Odegaard *et al*, 2006, p.87.

⁷ Harter et Fekrsanati, 2007, p.3-4.

de radiations ionisantes ou non-ionisantes. Nous relevons également l'origine de provenance de certains éléments et composés chimiques au sein des collections et de leur environnement. Tous ne sont pas toxiques. Cependant, il est nécessaire d'en avoir connaissance lors de la mise en œuvre d'analyses, comme nous le verrons ultérieurement.

Un des risques physiques important lié au travail dans les collections d'histoire naturelle concerne la manipulation de spécimens lourds et encombrants. Il s'agit particulièrement des grands mammifères, des naturalisations remplies avec du sable ou celles dont les mannequins sont composés de plâtre ou d'argile⁸, et de leurs socles.

Parmi les éléments dangereux inhérents aux spécimens, certaines substances venimeuses ou vénéneuses peuvent rester actives, même après séchage des animaux ou des plantes⁹. De même, des agents pathogènes viables peuvent subsister au sein des matériaux organiques, notamment dans les collections en fluide¹⁰.

Celles-ci sont aussi dangereuses en raison de la quantité importante de produits inflammables (alcools, formol...) rassemblée dans un même endroit. L'évaporation de ces liquides peut former des mélanges explosifs. De plus, les contenants en verre sont coupants s'ils se cassent¹¹.

Les collections de minéralogie, de géologie et de paléontologie peuvent contenir des spécimens radioactifs composés par exemple d'uranium ou de thorium. L'arsenic, le mercure et l'amiante se trouvent aussi sous forme minérale. Ce dernier a également pu servir pour renforcer les plâtres des mannequins de spécimens montés¹².

Certains pigments rouges, jaune et blanc sont à base d'arsenic (le réalgar As_2S_2 et l'orpiment As_2S_3), de mercure (le cinabre et le vermillon HgS) ou de plomb (le blanc de plomb $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$)¹³. Dès le XX^e siècle, du mercure a pu être ajouté aux peintures industrielles à des fins fongicides¹⁴. De plus, des oxydes d'arsenic ou de plomb sont susceptibles de se trouver dans le verre¹⁵ des yeux des montages.

⁸ Cuisin, 2004, p.18-21.

⁹ Richards, 1994, p.228.

¹⁰ Carter et Walker, 1999, p.190 ; Hawks et Makos, 2000, p.33 ; Norbut Suits, 1998, p.2. Les spécimens conservés à basse température et récemment acquis présentent les mêmes risques. Il s'agit là de matériel d'étude ou de spécimens encore non préparés et non entrés en collection.

¹¹ Makos et Dietrich, 1995, p.241 ; Richards, 1994, p.218.

¹² Hawks et Makos, 2001 ; Makos et Dietrich, 1995, p.238 et 240. L'amiante est également utilisé pour ses autres propriétés (ignifuge notamment).

¹³ Péquignot, 2008, p.7-8.

¹⁴ Odegaard *et al*, 2005, p.54. Il s'agit de composés organiques comme l'acétate de phénylmercure ($\text{C}_6\text{H}_5\text{HgO}_2$) ou l'oléate de phénylmercure ($\text{C}_{24}\text{H}_{38}\text{HgO}_2$).

¹⁵ Fonicello, 2007, p.5.

Enfin, les polymères synthétiques, comme le celluloid parfois utilisé pour le modelage des tissus mous et les feuillages des dioramas, peuvent se dégrader en formant des produits toxiques¹⁶.

Différents composés dangereux peuvent provenir des matériaux d'emballage, de stockage et d'exposition des spécimens, ainsi que des revêtements et matériaux de construction des bâtiments, voire de l'air extérieur.

Les pigments et peintures mentionnés ci-dessus ont par exemple pu être utilisés sur du mobilier et des socles.

Les éléments constitués de bois sont susceptibles de retenir certains produits volatils et de les relarguer lentement, comme cela a été montré dans le cadre de mesures de vapeurs de mercure émanant d'ancien mobilier de stockage de collections minéralogiques¹⁷.

Le formaldéhyde peut également provenir de polymères synthétiques comme les polyuréthanes¹⁸, différents adhésifs, liants des matériaux agglomérés (bois contreplaqué par exemple), peintures et revêtements, ainsi que de produits d'entretien sanitaires et de la pollution de l'air extérieur¹⁹.

¹⁶ Hawks et Makos, 2001.

¹⁷ Waller, Robert *et al.* Survey of Gaseous Pollutant Concentration Distributions in Mineral Collections. In *Collection Forum*, 2000, vol.14, p.1-32. Cité par Hawks et Makos, 2000, p.35.

¹⁸ INERIS, 2005, p.5-6.

¹⁹ AFSSET, ... *Le formaldéhyde*, 2007, p.19-20 ; Tétreault, 2003, p.106.

1. LES BIOCIDES

1.1. DESCRIPTION ET HISTOIRE D'UTILISATION

Ce chapitre a pour but de présenter les principaux biocides cités dans la littérature consultée, soit les plus fréquemment utilisés pour lutter contre les nuisibles dans les collections de *naturalia*. Ils sont exposés selon leur classe chimique – fumigants à part – et décrits²⁰ afin de connaître leur période et mode d'utilisation. La question de la rémanence de ces produits est également abordée.

Les XVIII^e et XIX^e siècles sont marqués par l'utilisation d'éléments inorganiques, tels que l'arsenic et le mercure, ainsi que des composés d'origine végétale comme la strychnine, le camphre, le tabac. Au cours du XIX^e siècle, des produits chimiques synthétiques sont découverts et élaborés (naphtalène, DDT...), cependant leurs propriétés biocides n'ont pas toujours été comprises immédiatement. Durant le XX^e siècle, le développement des pesticides évolue très rapidement en raison de la croissance de l'agriculture à grande échelle. Aujourd'hui, on tend à éviter l'utilisation de produits chimiques pour des raisons de toxicité, d'écologie et d'effet sur les matériaux constitutifs des collections²¹. Les dates de restriction ou d'interdiction d'utilisation des biocides sont parfois mentionnées à titre indicatif, puisque bien souvent, dans les musées, on termine les stocks de produits avant de les remplacer.

Le mode d'action des pesticides varie selon la nature des nuisibles contre lesquels il s'agit de lutter. Les insectes et petits mammifères peuvent s'intoxiquer par ingestion, par contact ou par inhalation. Les fongicides agissent contre la germination des spores ou le développement du mycélium des champignons²² et les bactéricides provoquent des dommages sur la membrane de la cellule ou agissent sur les protéines (dénaturation ou alkylation)²³.

Ils se présentent sous diverses formes : solide, liquide (dans des solvants organiques ou dans l'huile, en solution ou en émulsion) ou gazeuse et sont appliqués par poudrage, par pulvérisation, par immersion, au pinceau, à l'aide d'aérosols, de fumigènes ou par fumigation²⁴. Certains composés sont utilisés pour leur

²⁰ Ces descriptions sont plus ou moins détaillées selon les données présentées dans la littérature à disposition. Voir aussi annexes 1 et 2. Les composés dont la formule chimique n'est pas indiquée dans le texte se trouvent dans cette première annexe.

²¹ Hawks, 2001, p.3-5.

²² Delorme et Viel, 2007.

²³ Simmons, 1995, p.164 ; Van Dam, 2003, p.105.

²⁴ Child, 1995, p.95-99 ; Dawson et Strang, 1992, p.2-6 ; Unger *et al*, 2001, p.167.

action répulsive. On parle alors, par exemple d'insectifuge. Il s'agit de fumigants passifs sous forme solide ou liquide (microencapsulés, bandes de plastique imprégné...) qui diffusent lentement des vapeurs²⁵.

Précisons que ces trois derniers modes d'application se distinguent selon l'état physique du produit actif et son application. Ainsi, les aérosols sont des particules solides ou liquides en suspension dans un milieu gazeux ; les fumigènes permettent de disperser des particules solides par génération de fumée ; et la fumigation indique que le pesticide se trouve à l'état de gaz ou de vapeur²⁶.

D'autres biocides entrent dans la préparation des spécimens d'histoire naturelle (peaux plates, mises en peau, montages et fluides) à d'autres fins. On parle alors de substances fixatives et préservatrices²⁷. Un fixatif intervient dans l'étape initiale de conservation : les tissus sont stabilisés par la coagulation du contenu des cellules²⁸ ou par combinaison chimique des protéines avec le produit²⁹. Il permet ainsi de stopper les mécanismes de décomposition dus à l'autolyse³⁰ et à l'action des bactéries. Un préservatif permet de maintenir cet état fixé³¹. Il agit donc également contre les processus de dégradation, qu'ils soient chimiques ou biologiques et il accélère la dessiccation du matériau³².

Plusieurs des biocides présentés ci-dessous, ainsi que leurs produits de dégradation et des sous-produits³³, ont une rémanence marquée et peuvent persister dans les collections (spécimens et environnement), notamment parce qu'il s'agit de composés pas ou faiblement volatiles. De plus, certaines substances comme les graisses peuvent réduire leur volatilité³⁴.

Le temps de demi-vie³⁵ dans le sol (annexe 2), connu pour certains d'entre eux, permet de donner un cadre de référence pour leur persistance. Toutefois, dans un environnement clos, comme dans les musées, cette durée est généralement beaucoup plus longue³⁶.

²⁵ Pinniger et Harmon, 1999, p.172-173 ; Dawson et Strang, 1992, p.3.

²⁶ INRS, *Valeurs limites...*, 2006, p.6 ; Dawson et Strang, 1992, p.2. Les gaz se distinguent des vapeurs selon l'état des substances à des conditions de température et de pression normales : les vapeurs (état gazeux également) proviennent de liquides volatiles ou de solides sublimables. D'après Picot, 23.6.2008, *communication orale*.

²⁷ Certains auteurs ne distinguent pas ces deux termes et les utilisent comme synonymes ou englobent les deux définitions que nous mentionnons ci-dessous sous l'appellation « préservatif ».

²⁸ Les protéines sont rendues insolubles par la formation de liaisons covalentes.

²⁹ Moore, 1999, p.94 et 132.

³⁰ En d'autres termes, il s'agit d'un inhibiteur du processus enzymatique qui empêche la dégradation des protéines en acides aminés. D'après Simmons, 1995, p.161-162.

³¹ Reid, 1994, p.52.

³² Vallée, 2000, p.19 et 28.

³³ Réaction entre les matériaux et le biocide.

³⁴ Glastrup, 1987, p.62-63 ; Palmer, 2001, p.33-34 ; Rossol et Jessup, 1996. Les valeurs de tension de vapeur saturante pour chacun des composés sont indiquées en annexe 1.

³⁵ Temps que met une grandeur qui suit une loi exponentielle décroissante pour arriver à la moitié de sa valeur initiale. D'après *Le nouveau Petit Robert de la langue française*, 2007, v° demi-vie.

³⁶ Odegaard *et al*, 2005, p.14. La dispersion de certains biocides peut aussi être problématique (voir chapitre 3.1.).

1.1.1. Composés inorganiques

Un grand nombre de composés inorganiques ont pu servir de biocides. Ils sont généralement stables chimiquement, non volatiles et donc fortement persistants³⁷. Nous présentons, dans ce chapitre, les pesticides contenant de l'arsenic ou du mercure qui ont été utilisés durant longtemps et en grande quantité dans les musées d'histoire naturelle.

L'ARSENIC, « se présente généralement sous forme de cristaux gris, brillants et d'aspect métallique³⁸ ». Il provient de minerais³⁹.

Il est utilisé dès le XVII^e siècle dans la préparation des collections d'histoire naturelle⁴⁰ sous différentes formes. Interdit en France depuis 1960, il est toutefois employé dans beaucoup de musées partout dans le monde jusque dans les années 1990. Cet élément sert à la fois de fixatif⁴¹, de préservatif⁴², d'insecticide, de fongicide, de rodenticide⁴³ et de bactéricide.

Son utilisation la plus courante consiste en un mélange de différents composés appliqués sous forme de pâte sur l'intérieur des peaux et sur les os des spécimens. La recette la plus célèbre est celle du savon arsenical, mise au point en 1773 par J.-B. Bécoeur et comprenant de l'arsenic blanc (As_2O_3), du sel de tartre (K_2CO_3), du camphre, du savon blanc et de la chaux en poudre (CaCO_3)⁴⁴. Lorsque les peaux sont trop épaisses, il est également courant de les faire macérer dans des solutions contenant de l'arsenic pour assurer une meilleure pénétration⁴⁵. L'arsenic acide (H_3AsO_4) est généralement utilisé dans les recettes liquides puisqu'il s'agit de sa forme la plus soluble. Il est alors, entre autres, associé à de la strychnine⁴⁶. Certains insectes de collection peuvent également avoir été traités par immersion ou application au pinceau d'une solution saturée alcoolique contenant de l'arsenic⁴⁷. Un autre procédé consiste à enterrer les peaux dans du sable saturé en poudre d'arsenic⁴⁸. Les naturalistes se servent aussi de cet élément chimique sous forme de poudre sur le terrain ou après préparation. Il s'agit, par exemple, de mélanges

³⁷ Rossol et Jessup, 1996, p.148 ; Ware, 1978, p.48.

³⁸ INRS, *FT 192*, 2006, p.2.

³⁹ *Ibid*, p.1-2.

⁴⁰ Hendry, 1999, p.3.

⁴¹ Moore, 1999, p.94.

⁴² Vallée, 2000, p.28.

⁴³ Péquignot *et al*, 2006, p.4-5. A noter que certains champignons résistent à l'arsenic en le transformant en arsine (AsH_3). D'après Unger *et al*, 2001, p.175.

⁴⁴ Péquignot *et al*, 2006, p.4-5 ; Le Dimet et Jullien, 2002, p.105. Pour d'autres recettes, on consultera Vallée, 2000, Annexe.

⁴⁵ Péquignot *et al*, 2006, p.5 ; Vallée, 2000, Annexe.

⁴⁶ Goldberg, 1996, p.30 ; Kelman, 1999, p.11. Goldberg (1996, p.30) mentionne également l'application de « liqueur de Fowler » ou « soluté dit d'arsénite de potassium » sur les objets des collections anthropologiques de la Smithsonian Institution. Il s'agit d'une solution d'anhydride d'arsénieux, de carbonate potassique, d'alcool de Mélisse, d'alcool à 90° et d'eau. D'après Péquignot *et al*, 2006, p.5.

⁴⁷ Leprieur, 1861, p.230-232. La forme du composé arsenical n'est pas claire dans ce cas précis.

⁴⁸ Sirois, 2001, p.66.

d'alun⁴⁹, de sublimé corrosif (HgCl_2), d'arsenic rouge (le réalgar, As_2S_2) ou jaune (l'orpiment, As_2S_3) et d'arséniate de plomb ($\text{As}_2\text{O}_4\text{Pb}_3$). Des collections entières, y compris les herbiers, se voient saupoudrer de trioxyde d'arsenic, de sel de Macquer (KH_2AsO_4) ou d'autres mélanges⁵⁰. Enfin, cet élément est également utilisé dans les collections en fluide comme fixatif⁵¹ et pour lutter contre les microorganismes⁵².

Le CHLORURE MERCURIQUE ou sublimé corrosif⁵³ est volatile à température ambiante⁵⁴ et se présente sous forme de cristaux nacrés, blancs ou incolores⁵⁵. Il est susceptible de se transformer en chlorure mercureux (Hg_2Cl_2), qui lorsqu'il est réduit, libère des vapeurs de mercure élémentaire⁵⁶.

Il a principalement été utilisé en solution dans l'alcool pour traiter les collections botaniques – avant ou après montage des spécimens – depuis le XVIII^e siècle et jusque dans les années 1980 comme fongicide et insecticide⁵⁷. Il existe différentes recettes. Briggs *et al.* (1983, p.454) mentionnent, par exemple, l'emploi d'une solution de 2 litres d'alcool dénaturé contenant 60 grammes de chlorure mercurique et 60 grammes de phénol. On s'est également servi de ce biocide pour protéger les plumes, les peaux et les fourrures⁵⁸. Il n'est pas conseillé pour le traitement des collections d'entomologie en raison du risque de corrosion des épingles de montage⁵⁹. Hendry (1999) mentionne que dès le début du XX^e siècle, ce composé a eu moins de succès que l'arsenic pour la préparation des vertébrés⁶⁰. Il est généralement appliqué en solution aqueuse ou alcoolique à l'intérieur ou sur les spécimens, au pinceau, par immersion ou vaporisation⁶¹. La liqueur de Smith (sublimé corrosif, camphre, esprit-de-vin⁶²) est par exemple apposée sur la face externe des spécimens montés ou mis en peau⁶³. Ce biocide est aussi appliqué sous forme cristalline ou de poudre à l'intérieur des peaux, seul ou associé à l'arsenic comme on a pu le lire ci-dessus⁶⁴. Dans la formule de Kuckhan, il est mélangé à du salpêtre (KNO_3), de l'alun, du soufre, du musc,

⁴⁹ En taxidermie, l'utilisation d'alun fait généralement référence au sulfate double d'aluminium et de potassium [$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$].

⁵⁰ Odegaard, *et al.*, 2005, p.16 ; Péquignot *et al.*, 2006, p.5 ; Vallée, 2000, Annexe.

⁵¹ Moore, 1999, p.94.

⁵² Knapp, 2000, p.1.

⁵³ Appellation provenant de la réaction par laquelle il a été synthétisé pour la première fois au X^e siècle : du mercure, du vitriol (acide sulfurique) et du sel ont été chauffés, entraînant la formation d'acide chlorhydrique qui réagit avec le mercure pour former un sublimé corrosif.

⁵⁴ Hawks, 2004, p.783-784 ; INRS, *FT 55*, 1997, p.1.

⁵⁵ INRS, *FT 55*, 1997, p.1.

⁵⁶ Briggs *et al.*, 1983, p.454.

⁵⁷ Hawks, 2004, p.783-784 ; Purewal, 1999, p.5. Les botanistes du muséum de Grenoble ont également appliqué ce type de traitement jusque vers la fin du XX^e siècle. D'après Poncet, 10.1.2008, *communication orale*.

⁵⁸ Goldberg, 1996, p.31.

⁵⁹ Leprieur, 1861, p.232.

⁶⁰ Anonyme. *Handbook of Instructions for Collectors*. 2nd ed. British Museum (Natural History)/Longmans and Co., London, 1904. Cité par Hendry, 1999, p.3.

⁶¹ Goldberg, 1996, p.31 ; Hawks, 2004, p.783-784 ; Purewal, 1999, p.5 ; Sirois, 2001, p.66.

⁶² Voir ci-dessous.

⁶³ Vallée, 2000, Annexe.

⁶⁴ Goldberg, 1996, p.31 ; Sirois, 2001, p.66.

du poivre noir et du tabac en poudre. Ce composé apparaît aussi dans une recette pour la conservation en fluide, comme fixatif, avec de l'alun, du sel et de l'eau de pluie⁶⁵.

1.1.2. Composés organiques

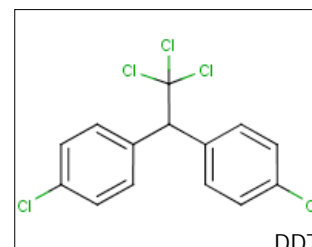
COMPOSES ORGANOCHLORES

Les composés organochlorés, introduits dès le milieu du XX^e siècle⁶⁶, sont de haut poids moléculaire et de basse pression vapeur⁶⁷ et peuvent laisser des résidus au sein des spécimens traités, par exemple en s'accumulant dans les graisses⁶⁸. Il s'agit de produits relativement stables dont la demi-vie peut aller jusqu'à plusieurs dizaines d'années⁶⁹. Plusieurs biocides de cette classe chimique – l'aldrine, le chlordane, le DDT, la dieldrine, l'heptachlore... – sont inscrits dans la convention de Stockholm sur les Polluants Organiques Persistants (POP) qui vise à les réduire, voire les éliminer depuis 2004⁷⁰.

Ci-dessous sont exposés le DDT et le lindane.

Le DDT (Dichlorodiphényltrichloroéthane, C₁₄H₉Cl₅)⁷¹ se présente sous forme de cristaux incolores ou de poudre blanche, sans odeur ou légèrement aromatique. Il est susceptible de se dégrader en DDE (dichlorodiphényldichloroéthylène, C₁₄H₈Cl₄)⁷².

Ce composé est synthétisé en 1939⁷³. Il est utilisé à grande échelle dans les années 1960⁷⁴ puis interdit dans beaucoup de pays durant la décennie suivante en raison de ces effets dévastateurs sur l'environnement⁷⁵. Toutefois on s'en sert jusque dans les années 1980⁷⁶. Il est fréquemment employé en raison de son faible coût, de sa longue durée d'efficacité et du peu de résistance développée par les insectes⁷⁷.



⁶⁵ Vallée, 2000, p.26 et Annexe.

⁶⁶ Rossol et Jessup, 1996, p.148-149.

⁶⁷ Schmidt, 2001, p.92.

⁶⁸ Kelman, 1999, p.12 ; Rossol et Jessup, 1996, p.148.

⁶⁹ Odegaard *et al*, 2005, p.15-18 ; Schmidt, 2001, p.92.

⁷⁰ *Stockholm Convention...*

⁷¹ Toutes les représentations des formules topologiques proviennent de la base de donnée *ChemIDplus Advanced* (NLM, 2008). Afin d'alléger le texte, celles-ci ne sont pas listées parmi les figures.

⁷² Szulczynska, 2000, p.1.

⁷³ Rossol et Jessup, 1996, p.148.

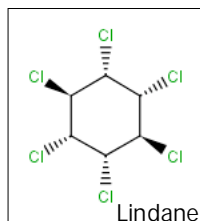
⁷⁴ Kelman, 1999, p.12.

⁷⁵ Szulczynska, 2000, p.1.

⁷⁶ Schmidt, 2001, p.92.

⁷⁷ Szulczynska, 2000, p.1.

Il est appliqué sous forme de poudre ou vaporisé en solution directement sur les objets, à l'intérieur des vitrines ou sur le mobilier de stockage⁷⁸. Il est parfois combiné au Lindane⁷⁹. Il a aussi pu être utilisé sous forme liquide, placé dans des contenants fixés à l'intérieur des boîtes de stockage ou des vitrines. Toutefois ce type de traitement devait être relativement inefficace en raison de la faible volatilité de ce biocide⁸⁰.



Le LINDANE ou γ -Hexachlorocyclohexane ($C_6H_6Cl_6$) se présente sous forme de cristaux blancs ou incolores⁸¹ et inodores. Il est soluble dans de nombreux solvants organiques⁸². Sa pression vapeur est plus élevée que celle des autres organochlorés et il peut agir comme fumigant dans de petits espaces clos⁸³.

Il est synthétisé en 1825 et ses propriétés insecticides sont découvertes en 1942⁸⁴. Il est également mentionné comme rodenticide dans la base de données PAN (*Pesticide Action Network*)⁸⁵.

Les modes d'application de cet insecticide de contact dans les musées a pu être varié puisqu'il se trouve dans le commerce sous forme de poudre, de microgranulés, de poudre mouillable, de solution émulsionnable...⁸⁶ En entomologie, il était fréquemment badigeonné en solution à l'acétone sur le fond ou les parois des cartons à d'insectes⁸⁷.

Comme le DDT, le lindane est souvent associé à d'autres biocides⁸⁸.

COMPOSE ORGANOPHOSPHORES

Les effets biocides des substances de la classe des organophosphorés n'ont pas été documentés avant 1932⁸⁹. Les composés de ce groupe ont généralement été utilisés pour remplacer les organochlorés en

⁷⁸ Goldberg, 1996, p.34 ; Szulczynska, 2000, p.1.

⁷⁹ Szulczynska, 2000, p.1.

⁸⁰ Goldberg, 1996, p.34.

⁸¹ Pereira, 2001, p.5.

⁸² INRS, *FT 81*, 1992, p.1.

⁸³ Dawson, 1988, p.141.

⁸⁴ Rossol et Jessup, 1996, p.149.

⁸⁵ PANNA, 2007.

⁸⁶ INRS, *FT 81*, 1992, p.1.

⁸⁷ Minet, 4.6.2008 et Prost, 18.10.2007, *communications orales*.

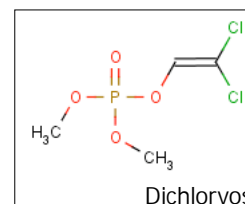
⁸⁸ INRS, *FT 81*, 1992, p.1.

⁸⁹ Rossol et Jessup, 1996, p.150.

raison de leur instabilité chimique⁹⁰, mais leur persistance est moindre comparée à celle de ces derniers. Toutefois, des produits de dégradation peuvent subsister sur ou dans les spécimens⁹¹.

Parmi les pesticides de cette classe, le dichlorvos a plus particulièrement été utilisé dans les collections de musées⁹².

Le DICHLORVOS ou DDVP (phosphate de 2,2-dichlorovinyle et de diméthyle, $C_4H_7Cl_2O_4P$) est un organophosphate chloré également connu sous son nom de marque Vapona®. C'est un liquide incolore à ambré de faible odeur aromatique qui est soluble dans différents solvants aromatiques ou chlorés et les alcools⁹³. Lorsqu'il est hydrolysés, il se décompose en phosphate de diméthyle ($C_2H_7O_4P$) et en dichloroacétaldéhyde ($CHCl_2CHO$)⁹⁴.



Cet insecticide est commercialisé depuis les années 1960 ; en 1980, une étude de Stone et Edwards (1988) démontre qu'il n'est pas recommandé de s'en servir pour les objets du patrimoine constitués de métal et de résines naturelles et synthétiques. Toutefois, il a été utilisé dans certains musées jusque dans les années 1990⁹⁵.

Le dichlorvos est employé en fumigation passive, en aérosol ou en pulvérisation⁹⁶. Il « se présente le plus souvent sous la forme d'un disperseur (cylindre ou bande en plastique imprégné) qui permet à l'insecticide de se libérer lentement par volatilisation. »⁹⁷ Parmi les différentes formulations, la plus courante comprend du chlorure de polyvinyle (PVC) imprégné de 20% de DDVP et de différents plastifiants pour prolonger le temps de dispersion du biocide⁹⁸.

HYDROCARBURES AROMATIQUES ET HALOGENES

Les biocides de la classe des hydrocarbures aromatiques et halogénés ne persistent pas dans les spécimens durant des périodes prolongées, excepté si des substances réduisent leur volatilité, comme les

⁹⁰ Ware, 1978, p.34.

⁹¹ Rossol et Jessup, 1996, p.151.

⁹² *Ibid.*

⁹³ INRS, *FT 116*, 2007, p.1.

⁹⁴ Williams *et al*, 1986, p.345.

⁹⁵ Linnie, 1997, p.237-238. À ce sujet, on lira également Linnie, Martyn J. Pest Control in Natural History Museums : a World Survey. In *Journal of Biological Curatorship*, 1990. Le laboratoire mammifères-oiseaux du Muséum national d'histoire naturelle à Paris s'en est également servi jusque dans ces années là. D'après Cuisin, 1999, p.10.

⁹⁶ INRS, *FT 116*, 2007, p.1 ; Linnie, 1997, p.236.

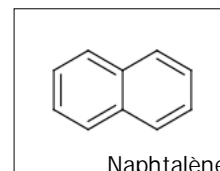
⁹⁷ Dawson et Strang, 1992, p.14 ; Linnie, 1997, p.236.

⁹⁸ Williams *et al*, 1986, p.344.

matériaux gras. Des sous-produits contenant du chlore ou du brome peuvent par exemple subsister suite à des réactions entre les matériaux et le pesticide⁹⁹.

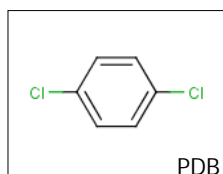
Nous présentons ici deux composés généralement utilisés comme répulsifs et largement employés dans les musées en raison de leur faible coût : le naphthalène et le paradichlorobenzène.

Le NAPHTALENE ($C_{10}H_8$) aussi nommé naphtaline, se présente sous forme de cristaux blancs, d'aiguilles ou de poudre. Il sublime à température ambiante et sa forte odeur de goudron se perçoit généralement dès 0,3 ppm (elle est décelable dès 0,1 ppm)¹⁰⁰.



Ce composé est synthétisé en 1821 et utilisé en tant qu'insectifuge depuis les dernières décennies du XIX^e siècle¹⁰¹.

Il est utilisé sous forme de cristaux, de paillettes ou de boules pour repousser¹⁰² les insectes¹⁰³, dispersé sur les objets, dans les boîtes de stockage, dans les réserves et vitrines d'exposition¹⁰⁴. Les appellations de « boules-à-mites » et « paillettes antimites » y font référence¹⁰⁵. Il est souvent confondu avec le paradichlorobenzène qui se présente sous la même forme.



Le PARADICHLOROBENZENE ou PDB ($C_6H_4Cl_2$), se présente sous forme de cristaux blancs et sublime à température ambiante¹⁰⁶. Il est plus volatile que le naphthalène et son seuil de perception olfactive se situe entre 15 et 30 ppm.

Il est utilisé comme fumigant passif depuis 1913¹⁰⁷. Certains musées s'en servent encore aujourd'hui¹⁰⁸.

Ce composé est enregistré comme insectifuge, insecticide, fongicide et rodenticide dans la base de données PAN¹⁰⁹. Il est employé de la même manière que le naphthalène¹¹⁰ et peut également être appliqué

⁹⁹ Rossol et Jessup, 1996, p.150.

¹⁰⁰ Huyhn, 2008, diapositive 29, *non publié* ; INRS, *FT 204*, 1992, p.1.

¹⁰¹ Hawks, 2001, p.4.

¹⁰² Pour exploiter son action biocide, il doit être utilisé à des concentrations élevées. D'après Pinniger et Harmon, 1999, p.173.

¹⁰³ Dawson et Strang, 1992, p.15.

¹⁰⁴ Goldberg, 1996, p.32.

¹⁰⁵ Dawson et Strang, 1992, p.15.

¹⁰⁶ INRS, *FT 224*, 2004, p.1

¹⁰⁷ Linnie, 1997, p.234.

¹⁰⁸ Le Muséum d'Histoire Naturelle de Neuchâtel en Suisse, par exemple. D'après Haenni et Zimmerli, 15.4.2008, *communication orale*.

¹⁰⁹ PANNA, 2007.

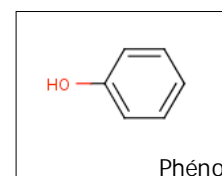
¹¹⁰ Dawson et Strang, 1992, p.17.

en solution¹¹¹. En entomologie, la pratique consiste à maintenir les boules ou pastille de PDB dans l'angle des boîtes à l'aide de tulle ou de coton, ou de les piquer avec une épingle rougie au feu¹¹².

PHENOLS ET PHENOLS SUBSTITUES

Le PHENOL ou acide carbolique (C_6H_5OH) présente des propriétés antiseptiques qui sont connues depuis le XIX^e siècle. Par la suite, il a été découvert que la substitution de radicaux halogénés ou nitrés augmente la toxicité de ce composé¹¹³. Le temps de demi-vie du phénol est de un à dix jours¹¹⁴.

Le phénol et le THYMOL ($C_{10}H_{13}OH$) ont été utilisés dans les musées comme fumigants passifs et sous forme de pâtes¹¹⁵. Ces composés bactéricides et fongicides¹¹⁶ ont également pu être employés sous forme liquide pour être vaporisé ou badigeonnés, en raison de leur solubilité dans l'eau¹¹⁷. Le phénoxetol ($C_8H_{10}O_2$) a servi comme préservatif pour les collections conservées en fluide¹¹⁸. Enfin, l'essence de serpolet ou thym sauvage apparaît dans certaines recettes de préparation des spécimens, notamment des liqueurs à appliquer sur les poils et les plumes¹¹⁹.



En entomologie, deux répulsifs de cette classe ont largement été utilisés sous forme liquide dans des fioles de Sauvinet piquées dans les boîtes d'insectes. Il s'agit de l'essence de mirbane ou nitrobenzène ($C_6H_5NO_2$) et de la créosote de hêtre¹²⁰.

L'ESSENCE DE MIRBANE ou nitrobenzène ($C_6H_5NO_2$) se présente sous forme d'un liquide huileux, incolore à jaune pâle et dont l'odeur d'amandes amères est perceptible dès 0,018 ppm¹²¹. Ce fongicide et insecticide avait moins de succès que le second en raison de sa forte odeur¹²².

¹¹¹ Carter et Walker, 1999, p.189.

¹¹² Minet, 4.6.2008 et Prost, 18.10.2007, *communications orales*.

¹¹³ Rossol et Jessup, 1996, p.150.

¹¹⁴ Odegaard *et al*, 2005, p.15.

¹¹⁵ Rossol et Jessup, 1996, p.150.

¹¹⁶ Goldberg, 1996, p.33.

¹¹⁷ ICSC, *Phénol*, 1993. Le thymol est notamment utilisé contre les moisissures du papier. D'après Dawson et Strang, 1991, p.7.

¹¹⁸ Simmons, 1995, p.167.

¹¹⁹ Vallée, 2000, Annexe.

¹²⁰ Haenni, 15.4.2008 et Prost, 18.10.2007, *communications orales*.

¹²¹ INRS, *FT 84*, 1997, p.1

¹²² Prost, 18.10.2007, *communication orale*.

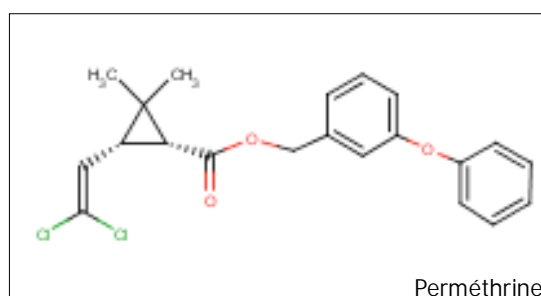
La CREOSOTE DE HÊTRE ($C_7H_8O_2$), liquide huileux incolore à jaune, est un produit issu de la distillation des copeaux de hêtre qui comprend essentiellement des composés phénoliques¹²³. Elle est souvent confondue avec d'autres créosotes toxiques provenant de la distillation du charbon et du pétrole, constituées à 85% d'hydrocarbures aromatiques polycycliques¹²⁴.

PYRETHRINES ET PYRETHRINOÏDES

Les pyréthrine, produits naturels, sont tirées de la fleur de chrysanthème, les pyréthrinoïdes étant leurs analogues de synthèse¹²⁵ ; ce sont des insecticides de contact¹²⁶.

La poudre de pyrèthre a été utilisée en tant qu'insecticide en Asie depuis le début du XIX^e siècle¹²⁷. Elle est également connue de certains entomologistes en France à cette époque¹²⁸. Les pyréthrine se décomposent rapidement en présence de lumière (rayons ultraviolets) et d'air et n'ont donc pratiquement aucun effet de rémanence¹²⁹. Elles sont généralement appliquées sous forme liquide à l'aide d'aérosol ou solide à l'aide de fumigène, mais également par poudrage (gel de silice¹³⁰ imprégné), notamment pour les herbiers¹³¹.

Les formes synthétiques, découvertes dans les années 1970¹³², sont divisées en deux catégories : les pyréthrinoïdes non persistants et persistants. Ces derniers sont plus stables et comprennent, entre autres, la perméthrine ($C_{21}H_{20}Cl_2O_3$), la cyperméthrine ($C_{22}H_{19}Cl_2NO_3$) et la deltaméthrine ($C_{22}H_{19}Br_2NO_3$)¹³³.



Les biocides de cette classe sont utilisés aujourd'hui dans plusieurs muséums pour lutter de manière active¹³⁴ contre les nuisibles, tels ceux de Paris, Grenoble ou encore Dijon¹³⁵.

¹²³ Picot, *Les créosotes...*, 2007, p.4-5, *non publié*. La composition varie selon la température de distillation, ici inférieure à 320°C.

¹²⁴ *Ibid*, p.1-4.

¹²⁵ Linnie, 1997, p.236-237.

¹²⁶ Dawson et Strang, 1992, p.24.

¹²⁷ Ware, 1978, p.46.

¹²⁸ Leprieur, 1861, p.236-237.

¹²⁹ Linnie, 1997, p.236 ; Dawson et Strang, 1992, p.24.

¹³⁰ Le gel de silice a également des effets insecticides par contact en raison de son action dessicante. D'après Pinniger et Harmon, 1999, p.173-174 ; Dawson et Strang, 1992, p.25.

¹³¹ Linnie, 1997, p.236 ; Dawson et Strang, 1992, p.24.

¹³² Unger *et al*, 2001, p.203.

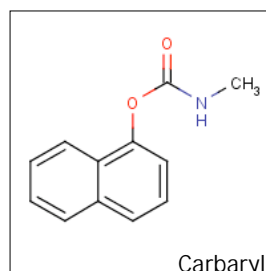
¹³³ Linnie, 1997, p.237.

¹³⁴ Précisons à ce sujet, que les pyréthrinoïdes ne sont pas utiles pour des actions préventives en raison de leur faible rémanence.

¹³⁵ Cuisin, 25.1.2008 ; Poncet, 10.1.2008 et Remoissenet, 17.10.2007, *communications orales*.

Mentionnons également qu'à la fin des années 1960, certains auteurs préconisent, pour le travail de taxidermie, l'immersion des peaux dans l'Eulan® (Edolan®) ou le Mitin® qui contiennent de la perméthrine¹³⁶.

CARBAMATES ET THIOCARBAMATES



Les pesticides de cette classe chimique – dérivés de l'acide carbamique – sont développés dans les années 1950 et ont pu être utilisés dans les musées jusque dans les années 1980 selon Rossol et Jessup (1996)¹³⁷. Toutefois, en 1992, Dawson et Strang, présentent trois biocides de cette classe comme moyen de lutte possible contre les insectes. Il s'agit du bendiocarbe (N-Méthylcarbamate de 2,2-diméthyl-1,3-benzodioxol-4-yle, $C_{11}H_{13}NO_4$), du carbaryl (Méthylcarbamate de 1-naphtyle, $C_{12}H_{11}NO_2$) et du propoxur (N-Méthylcarbamate de 2-isopropoxyphényle, $C_{11}H_{15}NO_3$), aussi connu sous le nom de marque Baygon®. Ce sont des insecticides de contact et/ou d'ingestion, sous forme de poudre ou de solution. Ils sont supposés se biodégrader rapidement car leur rémanence varie de quelques jours à plusieurs mois¹³⁸.

AMMONIUMS QUATERNAIRES

Signalons enfin la classe des ammoniums quaternaires qui servent de fongicide et de bactéricide – ainsi que d'algicide. De formule générale RNC_3H_8Cl , ces sels se caractérisent par la présence d'un atome d'azote et un ion chlorure ou bromure en terminaison¹³⁹.

Il n'est jamais fait mention de ces composés dans la littérature concernant les *naturalia*. Toutefois ceux-ci ont été utilisés dans les collections d'archives et de bibliothèques¹⁴⁰, dont les matériaux s'apparentent en partie aux herbiers.

¹³⁶ Hendry, 1999, p.4.

¹³⁷ Rossol et Jessup, 1996, p.151.

¹³⁸ Dawson et Strang, 1992, p.21-23.

¹³⁹ Ware, 1978, p.109.

¹⁴⁰ Velikova, 29.11.2007, *communication orale*.

1.1.3. Fumigants divers

Parmi les moyens de lutte chimique contre les nuisibles, différents biocides sous forme de gaz ont été ou sont utilisés pour des fumigations en chambre hermétique ou dans les espaces mêmes abritant des collections. La tension de vapeur de ces composés étant élevée, le temps de désorption des matériaux traités est relativement court. Toutefois, des sous-produits peuvent persister¹⁴¹.

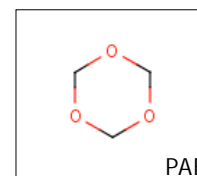
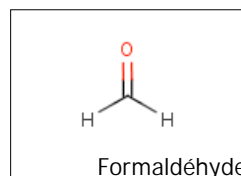
Nous exposons brièvement ci-dessous, le disulfure de carbone et le formaldéhyde¹⁴².

Le DISULFURE DE CARBONE (CS_2) est un liquide incolore à jaune qui présente une odeur à moins de 1 ppm¹⁴³.

Cet insecticide a servi depuis le XIX^e siècle¹⁴⁴. Principalement employé comme fumigant dans des réservoirs hermétiques, il a également pu être vaporisé dans les réserves de musées¹⁴⁵. Certains auteurs mentionnent l'utilisation d'un nécrentôme, une cuve hermétique en zinc, pour le traitement des collections¹⁴⁶. Quelques institutions se servent encore actuellement de ce biocide, comme le Muséum d'Histoire Naturelle de Grenoble¹⁴⁷.

Le soufre ou fleur de soufre (S) a également servi pour lutter contre les nuisibles¹⁴⁸, sous forme de fumigation, en mettant le feu à ce solide jaune¹⁴⁹.

Le FORMALDEHYDE ou méthanal (CH_2O) se présente sous forme de gaz incolore à température ambiante. Il est très soluble dans l'eau¹⁵⁰. Son seuil de perception olfactive est évalué entre 24 et 480 ppm¹⁵¹. Le PARA-FORMALDEHYDE ou PAF, une de ses formes polymérisées, à l'aspect de poudre ou de cristaux blancs¹⁵², a été utilisé pour effectuer des fumigations dans les réserves de musées¹⁵³. Il pouvait également être placé dans les boîtes de stockage des spécimens



¹⁴¹ Rossol et Jessup, 1996, p.153. L'oxyde d'éthylène, par exemple, peut réagir avec les chlorures pour former du chlorhydrine d'éthylène qui est rémanent.

¹⁴² La littérature spécialisée présente également d'autres fumigants, comme l'oxyde d'éthylène ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$), le tétrachlorure de carbone (CCl_4), le bromure de méthyle (CH_3Br), la phosphine (PH_3), le fluorure de sulfuryle (SO_2F_2 ou vikane), etc. Actuellement, des gaz rares (N_2 , CO_2 ...) sont également utilisés pour les traitements en anoxie.

¹⁴³ Center for Safety..., 1988, p.130 ; Pereira, 2001, p.2.

¹⁴⁴ Odegaard *et al*, 2005, p.15.

¹⁴⁵ Goldberg, 1996, p.33.

¹⁴⁶ Boitard, 1845, p.338 ; Colas, 1956, p.254.

¹⁴⁷ Poncet, 10.1.2008, *communication orale*. Ce traitement est effectué dans une pièce hermétique et dure environ trois semaines.

¹⁴⁸ Ware, 1978, p.98-99.

¹⁴⁹ Boitard, 1845, p.338.

¹⁵⁰ INRS, *FT 7*, 2006, p.1.

¹⁵¹ AFSSET, ... *Le formaldéhyde*, 2007, p.37.

¹⁵² INRS, *FT 7*, 2006, p.2.

¹⁵³ Il a par exemple été utilisé durant la dernière décennie du XX^e siècle dans les réserves du MJSD. D'après Masson,

sous forme de pastilles en tant que fumigant passif¹⁵⁴. Les naturalistes s'en sont abondamment servi sur le terrain¹⁵⁵.

1.1.4. Note sur les spécimens en fluide

Les composés qui servent de substances fixatives et préservatives pour les spécimens conservés en milieu humide ont généralement aussi des actions biocides. Généralement, dès le début du XX^e siècle, le processus de conservation s'effectue en deux étapes qui comprennent l'utilisation de formol comme fixatif, puis d'éthanol comme préservatif¹⁵⁶, les deux liquides incontestablement les plus utilisés dans les musées¹⁵⁷.

L'ETHANOL ou alcool éthylique (C₂H₅OH) est aussi nommé « esprit-de-vin »¹⁵⁸. Il est utilisé depuis le XVII^e siècle et présente des qualités bactéricides et fongicides¹⁵⁹. Ce composé est considéré comme pseudofixatif car il ne permet pas la formation de liaison covalente au sein des protéines mais leur dénaturation suite à l'altération des liaisons hydrogène¹⁶⁰.

Le FORMALDEHYDE est nommé « formol » ou « formaline » lorsqu'il est en solution aqueuse¹⁶¹. Ce fixatif et préservatif a largement remplacé l'éthanol pour la conservation en fluide depuis la fin du XIX^e siècle. Découvert en 1854, ses propriétés antiseptiques sont connues depuis 1893¹⁶². Outre son action bactéricide, ce produit comprend également des effets fongicides et insecticides¹⁶³. Toutefois, il n'est pas considéré comme un bon préservatif à long terme en raison de la difficulté du contrôle de son pH, à moins d'utiliser des solutions tampons ou un neutralisant, qui réduisent alors son pouvoir fixatif¹⁶⁴.

22.12.2007, *communication orale*.

¹⁵⁴ Prost, 14.5.2008, *communication orale*.

¹⁵⁵ Reid, 1994, p.55 ; Vallée, 2000, p.25-26. Ils le mélangeaient dans l'eau avec du carbonate de sodium ou de l'hydroxyde de sodium afin d'améliorer la dissolution.

¹⁵⁶ Simmons, 1995, p.161.

¹⁵⁷ Pour d'autres recettes, on consultera, entre autres, Jones et Owen (1987) ; Moore (1999) ; Simmons (1995) et Vallée (2000). De plus, comme mentionné en début de chapitre, d'autres substances biocides (arsenic, mercure, etc.) étaient parfois ajoutées à ces solutions.

¹⁵⁸ On consultera Reid (1994, p.32) pour une définition de ce terme.

¹⁵⁹ Moore, 1999, p.92. On s'en sert également en cas d'attaque fongique sur les collections sèches, par immersion, application au pinceau ou coton-badigeon. D'après Dawson et Strang, 1991, p.4-5.

¹⁶⁰ Simmons, 1995, p.162 et 164.

¹⁶¹ INRS, *FT 7*, 2006, p.1. Il s'agit généralement d'une solution de 33% à 50% de formaldéhyde dans l'eau complétée d'une petite quantité de méthanol en tant que stabilisant. D'après Burroughs, 2006, p.49.

¹⁶² Vallée, 2000, p.25.

¹⁶³ INRS, *FT 7*, 2006, p.1.

¹⁶⁴ Simmons, 1995, p.163 et 167.

1.1.5. Synthèse

Les biocides qui ont pu servir à lutter contre les nuisibles dans les collections d'histoire naturelle sont extrêmement nombreux et variés. La littérature et les listes consultées présentent plus d'une centaine de composés, qui correspondent aux principales familles chimiques précédemment présentées et utilisées dans les collections de *naturalia*.

Toutefois, la documentation concernant l'histoire et les modes d'utilisation de ces composés est plus ou moins détaillée d'un biocide à l'autre.

Enfin, il convient de relever la particularité d'emploi de ces composés chimiques au sein des collections d'histoire naturelle. En effet, certains pesticides interviennent dans les processus de fabrication des spécimens comme fixatif et/ou préservatif.

1.2. MISE EN EVIDENCE ET METHODES D'IDENTIFICATION

La détermination de la présence de biocides dans les collections d'histoire naturelle est nécessaire pour différentes raisons.

Accroître les connaissances sur les *naturalia* et les traitements qu'ils ont subi permet la réalisation d'études scientifiques spécifiques. Par exemple, une recherche utilisant des spécimens comme indicateurs biologiques pour déterminer des perturbations environnementales¹⁶⁵, ne peut se faire que si les traitements de préservation et de conservation sont connus. Certains biocides provoquent des changements de couleur des plumes et du pelage ; d'autres empêchent l'identification de l'ADN. Dans ces cas, les spécimens ne peuvent plus être utilisés pour des études taxonomiques se servant des variations de couleur des phanères ou de l'information génétique¹⁶⁶.

De même, les conservateur-restaurateurs doivent savoir quels matériaux et composés constituent un spécimen afin d'assurer la compatibilité d'un traitement avec ceux-ci. La connaissance de la présence de biocides dans les collections peut également aider à la compréhension de certains phénomènes de conservation et de dégradation. De plus, dans le cas d'une décontamination, les pesticides doivent être quantifiés avant et après intervention pour s'assurer du succès du traitement.

Enfin, l'identification et l'étude de ces substances interviennent dans la première étape d'une évaluation de risques sanitaires.

L'utilisation de pesticides dans les musées n'est généralement pas ou très peu documentée : l'identité, la quantité, les dates et modes d'application de ces produits sont mal connus. Toutefois différents indices et méthodes de recherches permettent de mettre en évidence et d'identifier les biocides résiduels utilisés dans les collections.

Nous présentons ci-dessous les étapes de recherche qui passent par un travail de dépouillement d'archives, d'enquêtes et d'observations. Par la suite, des tests microchimiques et des analyses instrumentales, si possible non destructifs, peuvent être mis en œuvre.

¹⁶⁵ Voir notamment : George, Sarah B. Specimens as Bioindicator of Environmental Disturbance. In *Mammal Collection Management*. Tech University Press, Texas, 1987, p.65-73 ; Hogstad, O. *et al.* Bird Skins in Museum Collections : Are they Suitable as Indicators of Environmental Metal Load after Conservation Procedures ? In *Environmental Monitoring and Assessment*, 2003, vol. 87, n°1, p.47-56.

¹⁶⁶ Brown, 1999, p.133 ; Hendry, 1999, p.4.

1.2.1. Recherches préliminaires et observations

La première phase de recherche consiste à compiler des informations par le biais des archives de l'institution. Lorsqu'ils existent, on consultera les notes et recettes des préparateurs et taxidermistes, les rapports de traitement, les listes de comptes et dépenses, les récépissés d'achats de produits et matériaux, les contrats avec des compagnies ou services de lutte contre les nuisibles, etc.¹⁶⁷.

Des enquêtes auprès du personnel actuel et retraité et des personnes travaillant ou ayant travaillé pour le musée dans le domaine de la lutte contre les nuisibles permettront de compléter la documentation¹⁶⁸.

La seconde phase passe par la recherche de traces physiques de l'utilisation et de la présence de biocides dans les collections. Il s'agit d'indices visuels, olfactifs voire tactiles.

Les anciens stocks ou les déchets de contenants de ces substances, de même que le matériel de mise en oeuvre (vaporisateur, équipement de protection...) sont aussi des sources d'informations.

Dans de rares cas, les spécimens possèdent des étiquettes ou des inscriptions signalant la présence de produits toxiques¹⁶⁹.

L'état de conservation est également un indice. Lorsqu'un spécimen ne présente pas de dégradations dues aux nuisibles, on peut supposer qu'il a subi un traitement biocide¹⁷⁰.

Certains phénomènes d'altération dus aux pesticides¹⁷¹ sont caractéristiques. Les taches gris noir sur les planches d'herbier peuvent, par exemple, indiquer la présence de composés contenant du mercure¹⁷².

L'observation sous rayons UV de ce type de collection permet également la mise en évidence de chlorure mercurieux sous forme de taches fluorescentes, invisibles à la lumière du jour¹⁷³. Ce composé apparaît suite à la réduction du chlorure mercurique provoquée par les processus de dégradation de la cellulose des spécimens et des papiers de montage¹⁷⁴.

D'autres biocides sont susceptibles de laisser des résidus poudreux ou cristallins. Il s'agit notamment des composés appliqués sous forme de poudre¹⁷⁵ comme l'arsenic et le DDT. Dans certaines conditions

¹⁶⁷ Odegaard *et al*, 2005, p.33-35.

¹⁶⁸ *Ibid*.

¹⁶⁹ *Ibid*, p.35-37.

¹⁷⁰ *Ibid*, p.35.

¹⁷¹ À ce sujet, voir chapitre 2.2.

¹⁷² La distinction des taches de moisissures de celles dues à la présence de mercure est visible sous microscope. Hawks *et al*, 2004, p.783.

¹⁷³ Certaines taches d'humidité fluorescent également sous rayons UV. Toutefois, elles sont visibles à la lumière du jour ; ceci permet de les distinguer de celles qui contiennent du mercure.

¹⁷⁴ Purewal *et al*, 29.11.2007, *communication orale* et 6.5.2008, *communication écrite*.

¹⁷⁵ Odegaard *et al*.2005, p.35-37.

ambiantes, le naphthalène et le PDB peuvent recristalliser¹⁷⁶. Le lindane subsiste également sous forme de cristaux visibles dans le fond des boîtes d'insectes¹⁷⁷. L'arsenic appliqué à l'intérieur des peaux peut migrer vers l'extérieur et se traduit par des dépôts poudreux ou cristallin blanc « à la base des phanères, autour des yeux, dans ou à la base des oreilles, autour de la gueule ou du bec[, ...] dans les extrémités des pattes »¹⁷⁸ et le long des coutures. À noter toutefois que ce phénomène se produit également avec d'autres sels solubles issus des traitements de préservation, comme les sels de chrome, d'alun ou le chlorure de sodium¹⁷⁹.

De manière générale, certains pesticides, comme le naphthalène, le paradichlorobenzène et l'essence de mirbane se remarquent par leur odeur¹⁸⁰. Toutefois les possibilités de détection olfactive varient d'un individu à l'autre et pour un même individu, selon les conditions du moment¹⁸¹.

Enfin, les peaux non tannées¹⁸² sont généralement traitées à l'arsenic. Elles se reconnaissent au toucher par leur aspect cartonné, sec et translucide qui s'apparente à celui d'un tambour¹⁸³.

1.2.2. Tests microchimiques

Les tests microchimiques sont des moyens d'identification basés sur des réactions chimiques entre le produit à analyser et un réactif. Les procédures sont généralement simples, rapides, peu coûteuses et nécessitent un laboratoire¹⁸⁴ et des connaissances en chimie pour une mise en œuvre correcte et sécurisée¹⁸⁵. Il s'agit de méthodes d'analyse élémentaire qualitative, généralement considérées comme des méthodes de dépistage¹⁸⁶ et souvent moins fiables que les méthodes instrumentales¹⁸⁷.

¹⁷⁶ Kelman, 1999, p.12 ; Dawson et Strang, 1992, p.15.

¹⁷⁷ Minet, 4.6.2008, *communication orale*.

¹⁷⁸ Péquignot *et al*, 2006, p.5.

¹⁷⁹ Vallée, 2000, p.55.

¹⁸⁰ Odegaard *et al*, 2005, p.35.

¹⁸¹ Picot *et al*, 1992, p.38. À noter également, qu'il y n'y a aucune relation entre toxicité et odeur.

¹⁸² Il s'agit de peaux ayant uniquement subi un pickelage (opération préliminaire au tannage et au mégissage permettant la déshydratation des tissus et leur acidification en vue d'assouplir les fibres et dissoudre les protéines « non collagène ») ou un mégissage (traitement à l'alun de potassium). D'après Cuisin, 2004, p.16-17 ; Martin, 2008, *non publié*. Voir aussi annexe 5.

¹⁸³ Le Dimet et Jullien, 2002, p.106.

¹⁸⁴ Feigl *et al*, 1972, p.32-36.

¹⁸⁵ Odegaard *et al*, 2005, p.53.

¹⁸⁶ Poulin, 2004, p.12.

¹⁸⁷ L'étude de Found et Helwig (1995, p.11) démontre par exemple que le test de Weber pour l'identification de l'arsenic est fiable à 87 % par comparaison à des analyses SEM-EDS (abréviation anglophone pour le MEB-EDX ou « Microscope électronique à balayage équipé d'un détecteur de rayons X à dispersion d'énergie »).

Les protocoles de tests pour la mise en évidence de l'arsenic et du mercure contenus dans les pesticides sont présentés en annexe (annexe 3). Ces procédures, de même que celles permettant d'identifier le bore, le zinc, le cuivre, le plomb et autres métaux lourds, sont bien établies¹⁸⁸. Les tests pour les biocides de la classe des carbamates et thiocarbamates, des organophosphates et ceux contenant des composés soufrés nécessitent des recherches complémentaires concernant les méthodes d'échantillonnage afin d'obtenir des résultats fiables. Enfin, le test permettant la mise en évidence de ions chlorures pour identifier les pesticides organochlorés demande encore à être étudié pour pouvoir l'utiliser dans les collections de musée¹⁸⁹.

Les procédures d'échantillonnage doivent être représentatives et reproductibles. Elles sont généralement non-destructives. Il s'agit dans la plupart des cas de prélèvements de particules à l'aide d'un coton-tige¹⁹⁰.

Il est conseillé de répéter plusieurs fois le test sur un échantillon afin de s'assurer du résultat. De même, il est nécessaire d'effectuer simultanément deux mêmes tests témoins qui donneront un résultat positif et l'autre négatif¹⁹¹ afin de garantir la qualité des réactifs.

L'interprétation des résultats doit se faire avec réserve car une réponse négative ne signifie pas nécessairement que le spécimen ou la zone de test n'est pas contaminé. La méthode de prélèvement peut avoir été inefficace. Il peut aussi s'agir d'une concentration de l'élément au-dessous de la limite de détection ou de son absence dans l'échantillon. Notons à ce titre que la distribution des biocides sur/dans les spécimens est généralement hétérogène¹⁹².

L'étude de J. Sirois (2001, p.70-71) présente un exemple d'analyses effectuées sur des grands oiseaux qui démontre que la concentration en arsenic varie selon les collections et selon les spécimens. Dans certains cas, elle est plus élevée au niveau de la tête et de la base de la queue et dans d'autres cas au niveau du corps. De même, le travail d'A. Péquignot (2008) a notamment permis d'établir un « profil arsenical » suite à l'analyse de 200 falconiformes. Les zones d'échantillonnage à privilégier sont la tête, le dos et le ventre¹⁹³.

¹⁸⁸ Odegaard *et al*, 2005, p.53.

¹⁸⁹ *Ibid*, p.53-55.

¹⁹⁰ *Ibid*, p.53 et 71. La méthode consistant à placer un papier-test directement sur le spécimen est plus délicate en raison du risque plus élevé d'altération du spécimen.

¹⁹¹ Odegaard *et al*, 2005, p.57.

¹⁹² Makos, 2001, p.95-96 ; Odegaard *et al*, 2005, p.57 ; Péquignot, 2008, p.6-8 ; Sirois, 2001, p.70-71.

¹⁹³ Schieweck *et al*, 2005, p.6106 ont également quantifié l'arsenic dans le plumage et dans le matériel de remplissage d'un oiseau.

Enfin, dans le cas d'un résultat positif, il est important de connaître les matériaux constitutifs du spécimen testé et autres objets alentour pour affirmer que les éléments identifiés proviennent de résidus de biocides. En effet, dans certains cas, ils peuvent être inhérents au spécimen ou liés à une source de pollution externe comme cela a été relevé en introduction¹⁹⁴.

1.2.3. Analyses instrumentales

Différentes analyses instrumentales peuvent être mises en œuvre afin d'identifier les résidus de biocides dans les collections de musée¹⁹⁵. Avant de s'adresser à un laboratoire, divers points doivent être définis pour que l'analyste puisse aider au mieux et sélectionner la méthode appropriée¹⁹⁶ :

- définition du but de l'étude et des questions à résoudre, (quels produits suspecte-on ?, quelle quantité ?),
- précision (limite de détection) et fiabilité des résultats requises,
- type d'échantillons disponibles,
- temps et moyens financiers à disposition.

Par la suite, un plan d'action sera discuté avec l'analyste¹⁹⁷ :

- choix de la méthode d'analyse,
- type et méthode de prélèvement des échantillons si nécessaires¹⁹⁸,
- format des résultats.

METHODES DE PRELEVEMENT

L'échantillonnage est une étape importante des analyses car les résultats dépendent fortement de sa qualité. De plus, face au respect de l'intégrité des spécimens, les prélèvements doivent être non destructifs ou très petits et localisés dans des endroits non visibles. On documentera les prélèvements sur l'étiquette et/ou dans la fiche d'inventaire ou dans un dossier ad hoc. Ils doivent également être représentatifs de ce qu'on désire analyser. Les types d'échantillons et les méthodes de prélèvements sont variés¹⁹⁹ :

¹⁹⁴ Voir « Note sur les matériaux dangereux et leur origine ».

¹⁹⁵ Concernant la surveillance individuelle de l'exposition d'une personne aux biocides, on se référera au chapitre 2.1.3.

¹⁹⁶ Palmer, 2001, p.26-27 ; Sirois et Sansoucy, 2001, p.50.

¹⁹⁷ Sirois et Sansoucy, 2001, p.50.

¹⁹⁸ Certaines méthodes d'analyses sont effectuées in situ et ne nécessitent donc pas de prélèvement.

¹⁹⁹ Caldararo *et al*, 2001, p.60 ; Huyhn, 2008, diapositives 30-36, *non publié* ; Makos, 2001, p.96-98 ; Sirois et Sansoucy, 2001, p.51, 53 et 56.

- particules provenant de la surface des spécimens ou alentours (socles, boîtes, étagères) ou des gants de travail : scalpel, tissu doux sec ou humide, filtres en cellulose ou fibres de verre, coton-tige sec ou humide, capteurs atmosphériques, aspiration à l'aide d'une pompe munie d'un filtre,
- composés volatiles à l'intérieur d'une pièce ou provenant d'un spécimen isolé préalablement emballé dans un sac²⁰⁰ : technique statique (badge, tube réactif, fibres SPME²⁰¹) ou dynamique à l'aide d'une pompe reliée à un tube réactif ou tube à échantillon,
- particules et composés volatiles simultanément : tubes à échantillon combinés,
- fragments de spécimen.

Certains badges et tubes réactifs²⁰² permettent une lecture directe par changement colorimétrique et ne nécessitent pas d'analyse en laboratoire. Souvent utilisés pour l'identification des vapeurs de mercure²⁰³ et de formaldéhyde, il s'agit de méthodes simples et efficaces mais moins sensibles et moins précises que ces dernières²⁰⁴.

Enfin, les méthodes de prélèvements de surface doivent encore être améliorées en termes de standardisation pour assurer une meilleure sensibilité des résultats²⁰⁵. De même, des techniques d'échantillonnage faciles et rapides pour les biocides organiques doivent être développées²⁰⁶.

METHODES D'ANALYSE

Le but des analyses et différentes contraintes influencent le choix des méthodes à mettre en œuvre. Le tableau 1²⁰⁷ présente les différentes méthodes instrumentales généralement utilisées lors de l'étude des biocides dans les collections de musées.

²⁰⁰ Cette méthode a été mise en œuvre au *National Museum of the American Indian* (Bosworth *et al*, 2003, p.194-197 ; Ormsby *et al*, 2006).

²⁰¹ Micro-Extraction en Phase Solide, en anglais : *Solid-Phase MicroExtraction*.

²⁰² On consultera INRS. Métropol, 2007 pour des exemples.

²⁰³ Les vapeurs de mercure peuvent également être quantifiées à l'aide d'un moniteur à lecture direct comme le *431-X Mercury Vapor Analyzer* (mesure de la résistance électrique d'une feuille d'or résultant de l'amalgame du mercure sur celle-ci). D'après Hawks *et al*, 2004, p.784-785.

²⁰⁴ Grzywacz, 1995, p.199-200 ; Makos et Dietrich, 1995, p.246 ; Purewal, 2001, p.85

²⁰⁵ On se référera au travail d'A. Péquignot (2008) concernant l'identification de métaux lourds dans les spécimens ornithologiques.

²⁰⁶ Johnson, 2005, p.92-93 ; Madden, Odile *et al*, 29.11.2007, *communication orale* ; Makos, 2001, p.96.

²⁰⁷ Liste non exhaustive compilée d'après Odegaard *et al*, 2005, p.68-71 ; Purewal, 2001, p.81 ; Sirois et Sansoucy, 2001, p.51-61. Les abréviations correspondent à la terminologie anglophone qui est plus couramment utilisée dans ce domaine. Concernant le fonctionnement de ces méthodes, on lira, entre autres, l'article de Palmer (2001).

Produit analysé	Méthode	Qualitative/ quantitative	Échantillon	Remarque
Éléments de n° atomique élevé	Radiographie à rayons X	Révèle l'emplacement de zones comprenant des éléments lourds	Pas d'échantillon	Utilisé en parallèle à d'autres méthodes
Éléments de n° atomique 20 et plus	Spectrométrie de fluorescence de rayons X (XRF)	Qualitative et semi-quantitative ²⁰⁸	Pas d'échantillon. Examen de surface (env. 3 cm ²)	Appareil portable ²⁰⁹ permet une utilisation in-situ. Meilleure limite de détection que AAS et ICP-MS. Rapide. Interférences possibles entre les pics de certains métaux ²¹⁰
Éléments de n° atomique 5 à 92	Microscopie électronique à balayage couplée à la dispersion d'énergie des rayons X (SEM-EDS)	Qualitative et semi-quantitative. Emplacement des éléments sur les coupes.	Solide. 0,01-15 cm. Coupe	Meilleure limite de détection que XRF, AAS et ICP-AES
1 élément à la fois (métaux)	Spectrométrie d'absorption atomique (AAS)	Qualitative et quantitative	Solide. 0,01-0,1 g. (consommé lors de l'analyse)	Limite de détection plus basse que XRF. Interférence possible entre les éléments.
Plusieurs éléments simultanément (métaux, Cl, I, Br, S)	Spectrométrie de masse couplée à un plasma inductif (ICP-MS)	Qualitative et quantitative	Solide. 0,01-0,1 g.	Limite de détection plus basse que AAS. Moins d'interférence que AAS. Échantillon consommé lors de l'analyse
Composés organiques et quelques composés inorganiques	Spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR)	Qualitative	Solide (0,1 mm au min.), liquide ou gaz.	Interférences possibles en présence de composés multiples
Composés organiques	Chromatographie ²¹¹ en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS)	Qualitative et quantitative.	Solide, liquide ou gaz. 0,01 mg et/ou 0,5 mm de diamètre	Précise, limite de détection basse. Lente. Lourde préparation de l'échantillon (extraction, filtrage)

Tableau 1 : méthodes d'analyses utilisées pour l'identification de biocides.

²⁰⁸ On pourra lire le résumé de l'étude de Bond (2007) au sujet de la fiabilité de cette méthode pour quantifier l'arsenic dans du cuir contaminé.

²⁰⁹ Concernant la limite de détection de ces appareils, on lira l'article suivant : Dussubieux, Laure *et al.* Non-Destructive Elemental Analysis : Reliability of a Portable X-Ray Fluorescence Spectrometer for Museum Applications. In Comité de l'ICOM pour la conservation. *14th Triennial Meeting. The Hague 12-16 September 2005*. Preprints Volume II, James & James, London, 2005, p.766-773.

²¹⁰ Pic de l'arsenic occulté par celui du plomb en raison d'une forte concentration de ce dernier composé et des marges d'erreur de lecture. À ce sujet, voir Foncello, 2007, p.5.

²¹¹ D'autres méthodes utilisant le principe de la chromatographie (séparation et temps de déplacement des composés) peuvent être appliquées, telle la chromatographie en phase liquide à haute performance (HPLC).

La spectrométrie de fluorescence X est habituellement mise en oeuvre lorsque on cherche à savoir si un grand nombre d'objet est contaminé par des biocides contenant de l'arsenic, du mercure, du plomb et du brome²¹².

La méthode SEM-EDS permet d'obtenir une vue globale de la composition chimique d'un échantillon au niveau des éléments. Elle est souvent combinée avec une étude FTIR pour connaître les différents composés organiques et inorganiques²¹³.

Les méthodes de spectrométrie atomique (AAS et ICP-MS²¹⁴) sont fréquemment mises en oeuvre pour détecter la quantité d'arsenic, de mercure et de plomb dans les locaux de musées. La technique ICP-MS permet l'analyse de non-métaux tels que le chlore, le brome, l'iode et le soufre²¹⁵. Il existe des appareils portables à lecture directe fondée sur la spectrométrie d'absorption (AAS, CVAAS²¹⁶) pour quantifier les vapeurs de mercure²¹⁷.

Enfin, la chromatographie permet d'identifier et de quantifier les composés des biocides organiques de manière précise et fiable²¹⁸.

Pour terminer cette revue des différentes méthodes d'identification de pesticides, relevons encore trois techniques en cours d'étude ou envisageables.

N. Odegaard (2007) mentionne la possibilité d'utiliser des cellules épithéliales de poumons de rat pour quantifier les résidus de type organiques ou de mixtures de résidus. Ce procédé ne permet pas d'indiquer le type de biocide²¹⁹.

Des scientifiques du *Los Alamos National Laboratory* ont également utilisé des lasers pour détecter la présence de pesticides et autres contaminants dans l'air, dans le sol et autres matériaux²²⁰.

Enfin, la méthode de décontamination biologique présentée dans le chapitre 3.2.7., pourrait également être utilisée en tant qu'indicateur de la présence de certains métaux lourds.

²¹² Palmer, 2001, p.39 ; Sirois et Sansoucy, 2001, p51.

²¹³ Sirois et Sansoucy, 2001, p.57.

²¹⁴ Palmer (2001) en présente d'autres.

²¹⁵ Sirois et Sansoucy, 2001, p.59-60.

²¹⁶ Spectrométrie d'absorption atomique en vapeur froide.

²¹⁷ Pour ce type d'instruments et d'autres méthodes de détection directe, on se référera au travail suivant : Tarchini, Antonin. *Le mercure dans les collections du patrimoine technique et industriel : problématique de conservation*. Mémoire de fin d'études – Haute école d'arts appliqués Arc, Hes-so, Neuchâtel, 2006, p.56-60 et 179-190.

²¹⁸ Palmer, 2001, p.39 ; Sirois et Sansoucy, 2001, p.58.

²¹⁹ Odegaard, 29.11.2007, *communication orale*.

²²⁰ Odegaard, 2001, p.120.

1.2.4. Synthèse

Au vu des informations présentées ci-dessus, il apparaît que bon nombre de moyens de mise en évidence et d'identification de biocides dans les *naturalia* sont réalisables par tous types d'institutions et de musées. En effet, des recherches en archives, la réalisation d'enquêtes, des observations dans les collections et la mise en œuvre de tests microchimiques nécessitent peu de matériel. Ces différentes méthodes, bien que souvent non suffisantes, permettent déjà d'apporter bon nombre de données qualitatives.

En revanche, la mise en place d'analyses instrumentales implique des moyens financiers plus conséquents, ainsi que la participation de différents spécialistes (analystes, chimistes...). Aussi, il est important d'établir un projet de travail détaillé dans lequel chacun est impliqué afin de collaborer au mieux.

2. LES EFFETS DES BIOCIDES

2.1. EFFETS SUR L'ORGANISME

Les résidus de biocides utilisés pour la protection des collections d'histoire naturelle peuvent avoir des effets sur la santé des personnes en contact avec ceux-ci. Afin d'appréhender les risques toxiques que représentent certains de ces produits chimiques, ainsi que les différentes étapes d'une évaluation de risques sanitaire, il est important de définir quelques notions de toxicologie, tant générale que moléculaire.

2.1.1. Notions générales de toxicologie

DEFINITION ET ETAPES D'INTOXICATION

Un toxique est une substance chimique qui, après pénétration et distribution dans l'organisme humain, interagit avec celui-ci et provoque des altérations passagères ou durables des fonctions physiologiques normales²²¹.

On distingue trois étapes principales entre l'introduction d'un produit xénobiotique²²² dans l'organisme et son effet : la phase d'exposition, la phase toxicocinétique et la phase toxicodynamique.

Durant la phase d'exposition, le composé toxique se présente sous forme de solide, de liquide ou de gaz qui peut pénétrer dans le corps humain par la voie respiratoire, digestive ou la peau. Les liquides volatiles et les solides sublimables peuvent passer à l'état de vapeurs et se comportent alors comme les gaz et pénètrent dans la majorité des cas par la voie respiratoire.

La phase toxicocinétique comprend l'absorption du produit par une des voies de pénétration²²³ et sa distribution, généralement par voies sanguine et secondairement lymphatique. Le toxique est d'abord stocké, puis éliminé tel quel ou sous forme d'un ou plusieurs métabolites hydrosolubles. Selon leur type d'action, on parle de toxiques directs et de toxiques indirects. Ces derniers sont aussi nommés « protoxiques ». Ils sont transformés par métabolisation enzymatique, généralement au niveau du foie, et conduisent à des métabolites hydrosolubles qui sont généralement éliminés par voie urinaire, processus de détoxification bénéfique pour l'organisme. Dans le cas d'un processus d'intoxication, un ou des

²²¹ Janowski, 1989, p.57 ; Picot *et al*, 1992, p.36.

²²² *Xenos*, du grec, Élément « étranger ». D'après *Le nouveau Petit Robert de la langue française*, 2008, v° xén(o)-.

²²³ C'est à ce stade que les mesures de sécurité doivent être appliqués afin d'éviter tout risque d'intoxication (voir chapitre 3.1.).

intermédiaires réactifs ou des métabolites réactifs se forment et réagissent avec les molécules biologiques de l'organisme, entraînant des effets toxiques.

Enfin, la phase toxicodynamique correspond à l'interaction entre le xénobiotique ou les produits métabolisés et les cibles biologiques de l'organisme²²⁴. Quelques données sur les effets que provoquent ces substances sont développées ultérieurement.

LES VOIES DE PENETRATION

L'organisme peut absorber les produits toxiques par différentes voies d'entrées selon leur nature physique. Ces modes de pénétration peuvent être uniques ou multiples. On en distingue quatre : respiratoire, orale, transcutanée et percutanée. Il faut ajouter, la possibilité de contact direct avec les yeux et les muqueuses nasales et buccales²²⁵.

L'inhalation est la principale voie de pénétration des toxiques volatiles et souvent la plus importante, en raison de la grande quantité d'air respiré (2000 litres par journée de huit heures pour un travailleur sédentaire et jusqu'à 1000 à 1500 l/heure pour un travailleur de force) et de la grande surface d'échange des alvéoles pulmonaires (90 m² au repos et 130 m² en inspiration forcée). Elle concerne les substances gazeuses, les particules solides et les liquides sous forme de petites gouttelettes (aérosols, fumigènes). On distingue les particules selon leur taille, à savoir la fraction inhalable, thoracique et alvéolaire ; cette dernière étant de taille inférieure à 5µm²²⁶. « Les poussières de taille supérieure à 5µm sont arrêtées dans le nez, la trachée, les bronches, par le mucus et rejetées, grâce aux cils qui recouvrent ces conduits. »²²⁷ De nombreux gaz et solvants volatiles ont une action toxique aiguë accrue car ils sont directement distribués par le sang, des alvéoles vers les organes cibles, sans passer par le foie²²⁸.

L'intoxication par voie orale est rare en milieu professionnel. Toutefois, certains toxiques inhalés peuvent emprunter la voie digestive s'ils ont été rejetés dans l'arrière gorge et avalés. En cas d'ingestion, les produits passent par le foie²²⁹.

²²⁴ Janowski, 1989, p.57 ; Picot *et al*, 1992, p.36-37 et 45.

²²⁵ Cotonat, 1996, p.5 ; Picot *et al*, 1992, p.37. On parle également de voies pulmonaire, digestive et cutanéomuqueuse. D'après Rosenfeld, 2.7.2008, *communication orale*.

²²⁶ Huynh, 2008, diapositives 19-21 ; Picot *et al*, 1992, p.37.

²²⁷ Picot *et al*, 1992, p.37.

²²⁸ *Ibid*.

²²⁹ *Ibid*, p.39.

L'absorption de toxiques par voie transcutanée dépend de l'intégrité des téguments, mais surtout des propriétés physico-chimiques des composés. Les produits lipophiles sont particulièrement susceptibles d'utiliser ce mode de pénétration. Ils traversent l'épiderme, puis sont distribués vers leur cible par la lymphe et le sang. L'intoxication par voie percutanée se rencontre lors de blessures²³⁰.

Concernant les atteintes oculaires, mentionnons que le port de lentilles de contact est à déconseiller en présence de certains produits volatils et irritants. Les composés halogénés peuvent notamment se dissoudre dans le liquide lacrymal et provoquer des irritations importantes²³¹.

TOXICITE AIGUË ET TOXICITE A LONG TERME

On distingue deux types de toxicité selon les effets, leur délai d'apparition et les quantités de produit toxique absorbées.

La toxicité aiguë est due à une exposition à court terme, suite à l'absorption d'une dose unique ou de fractions de doses réparties sur vingt-quatre heures²³². La dose est généralement élevée et les effets sont immédiats ou rapides. Ils peuvent être différés de plusieurs heures²³³. L'estimation de la toxicité aiguë d'un produit est déterminée par la dose entraînant la mort (dose létale : DL) ou une anomalie particulière, comme des troubles nerveux ou une formule sanguine altérée (dose effective : DE). La DL₅₀ ou la DE₅₀ correspondent à la quantité de substance absorbée par ingestion et provoquant la mort ou l'apparition de troubles chez la moitié de la population testée²³⁴. « Les doses étant difficiles à déterminer dans le cas d'intoxication par inhalation, on mesure alors les concentrations létales (CL₅₀) ou effectives (CE₅₀). »²³⁵

La toxicité à long terme, autrefois nommée « toxicité chronique », survient après des absorptions souvent répétées de petites quantités de toxiques. Il s'agit d'expositions réparties sur une durée de quelques mois à plusieurs années. Il en résulte une intoxication due à l'accumulation de la substance dans l'organisme (l'arsenic, par exemple, s'accumule dans les phanères²³⁶). Selon l'alchimiste suisse Paracelse (1493-1541),

²³⁰ Cotonat, 1996, p.6 ; Janowski, 1989, p.57 ; Picot *et al*, 1992, p.38-39.

²³¹ Picot *et al*, 1992, p.6.

²³² *Ibid*, p.48.

²³³ Janowski, 1989, p.58 ; Picot *et al*, 1992, p.48.

²³⁴ Picot *et al*, 1992, p.48 ; Suva, 2002, p.23.

²³⁵ Picot *et al*, 1992, p.48.

²³⁶ Cotonat, 1996, p.78.

« ...seule la dose fait le poison », toutefois il y a des exceptions avec les produits mutagènes et cancérogènes où l'accumulation des effets contribue à l'intoxication²³⁷.

LES VALEURS LIMITES D'EXPOSITION PROFESSIONNELLE

L'évaluation de la toxicité des substances chimiques pour l'Homme et l'établissement de valeurs limites d'exposition sont effectués sur la base de données épidémiologiques et toxicologiques (expérimentation animale *in vivo* et études *in vitro*)²³⁸. Elles sont valables pour des individus en bonne santé et en âge d'exercer une activité professionnelle. Elles doivent être appliquées avec prudence pour les femmes enceintes²³⁹, les personnes âgées ou porteuses d'une maladie chronique²⁴⁰. Ces valeurs sont régulièrement révisées en fonction des nouvelles données d'études et des possibilités techniques de mesures et de protection²⁴¹. Elles prennent également en compte des critères sociaux, économiques, voire psychologiques²⁴² qui ne sont plus forcément admissibles à l'heure actuelle. Aussi, il est important de se tenir au courant des études en cours, comme les évaluations effectuées par l'AFSSET (Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail) concernant l'actualisation de valeurs guides de qualité d'air intérieur (VGAi) pour différentes substances sélectionnées²⁴³. Par ailleurs, au niveau européen, le protocole REACH (Enregistrement, évaluation, autorisation et restrictions des substances chimiques) entré en vigueur en juin 2007 va certainement homogénéiser les limites en cours dans les différents pays²⁴⁴.

Les valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP)²⁴⁵ aux agents chimiques (gaz, vapeurs et particules) sont établies selon la concentration maximale admissible de toxique dans l'air. Dans cette définition, la voie de pénétration pulmonaire est principalement prise en compte. Bien que les risques d'intoxication par voie cutanée soient réels, ceux-ci sont très difficiles à apprécier²⁴⁶, mais peuvent parfois être quantifiés si l'on dispose de marqueurs spécifiques par exemple au niveau des métabolites urinaires. De plus, les VLEP

²³⁷ Picot *et al*, 1992, p.49.

²³⁸ Louis et Muller, 1998 ; Picot *et al*, 1992, p.427.

²³⁹ Suva, 2007, p.13.

²⁴⁰ Rosenfeld, 2.7.2008, *communication orale*.

²⁴¹ Picot *et al*, 1992, p.38.

²⁴² INRS, *Valeurs limites...*, 2006, p.6. Il en résulte que ces valeurs ne sont pas comparables d'une substance à l'autre. D'après Boué, 2006, p.320. Le choix de ces seuils échappe donc, en partie, au médical et dépend de consensus sociaux.

²⁴³ AFSSET, ... *Document cadre...*, 2007. À noter que ces valeurs sont plus contraignantes que celles de l'INRS, non seulement parce qu'ils s'agit d'évaluations récentes, mais également parce qu'elles concernent tous types de personnes hors exposition professionnelle (enfants, personnes sensibles, etc.).

²⁴⁴ Commission Européenne, 2008.

²⁴⁵ Equivalent de « *Occupational Exposure Limits (OEL)* ».

²⁴⁶ CIS, 2004 ; INRS, *Valeurs limites...* 2006, p.6.

prennent en compte uniquement l'absorption d'un toxique et non pas de mélanges de substances, ni d'interactions entre les substances²⁴⁷.

Ces valeurs limites servent de normes recommandées ou obligatoires. Elles se réfèrent souvent aux valeurs seuils²⁴⁸ publiées par l'Association américaine des hygiénistes industriels (ACGIH)²⁴⁹. A ce titre, on distingue les substances pour lesquelles il existe un seuil en dessous duquel aucun effet ne se produit et celles pour lesquelles des effets surviennent dès les plus faibles niveaux d'exposition. Pour les agents à *effets à seuil*, « la gravité de l'effet est proportionnelle à l'exposition (ou à la dose) et il existe une dose sans effet. »²⁵⁰ Il s'agit essentiellement des produits non cancérigènes et cancérigènes non génotoxiques. Pour les agents à *effets sans seuil*, « la probabilité de survenue de l'effet est proportionnelle à la dose d'exposition mais pas sa gravité. »²⁵¹

En France, les valeurs de ces limites sont publiées dans des arrêtés et décrets, ainsi que par l'INRS (Institut National français de Recherche et de Sécurité)²⁵². Elles sont de deux types : les valeurs limites d'exposition à court terme (VLCT ou VLE) et les valeurs limites de moyenne d'exposition (VME). Les premières « sont des valeurs mesurées sur une durée maximale de quinze minutes. Leur respect prévient les risques d'effets toxiques immédiats ou à court terme. »²⁵³ Les secondes sont « mesurées ou estimées sur la durée d'un poste de travail de huit heures [par jour], elles sont destinées à protéger les travailleurs des effets à moyen ou long terme. »²⁵⁴ Ces chiffres sont exprimés en ppm, en ml/m³ ou en mg/m³ d'air pour les gaz et les vapeurs et en ppm ou en mg/m³ d'air pour les substances en suspension²⁵⁵.

En Suisse, ces valeurs sont publiées par la Suva (*Schweizerische Unfallversicherungsanstalt* ou Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents) et diffèrent parfois des mesures françaises car la durée légale du travail hebdomadaire n'est pas la même (42 heures hebdomadaires à raison de huit heures par jour)²⁵⁶.

²⁴⁷ INRS, *Valeurs limites...* 2006, p.6 ; Picot *et al*, 1992, p.38. Des recherches américaines récentes devraient permettre de mieux comprendre l'interaction des produits chimiques en mélange, celle-ci pouvant aller dans le sens d'une synergie ou d'un antagonisme.

²⁴⁸ Équivalent de « *Threshold Limit Values (TLV)* ».

²⁴⁹ *American Conference of Governmental Industrial Hygienists*. CIS, 2004 ; Picot *et al*, 1992, p.38 et 385-386.

²⁵⁰ Host *et al*, 2006, p.160.

²⁵¹ *Ibid*, p.161.

²⁵² INRS, *Valeurs limites...* 2006. Elles sont reprises, aux Etats-Unis, par l'*Occupational Safety and Health Administration (OSHA)* sous forme de valeurs réglementaires. D'après Picot *et al*, 1992, p.385.

²⁵³ INRS. *Introduction...* 2007. Équivalent de « *Short-term Exposure Limit (STEL)* » d'après CIS, 2004.

²⁵⁴ INRS. *Introduction...* 2007. Équivalent de « *Time-weighted Average (TWA)* » d'après CIS, 2004.

²⁵⁵ Suva, 2007, p.18. [ppm] x masse molaire / V = [mg/m³] ou V = 24,45 à 25° C sous pression normale, ou V = 24,05 à 20° C sous pression normale. D'après INRS, *Valeurs limites...* 2006, p.8.

²⁵⁶ Suva, 2007, p.5.

CLASSEMENT DES SUBSTANCES CMR

Les substances chimiques cancérogènes, mutagènes ou reprotoxiques²⁵⁷ (CMR) sont généralement classées en trois catégories selon les degrés de certitude ou de probabilité de leur pouvoir toxique sur l'Homme. Les Etats Européens se fondent essentiellement sur les listes de la CEE²⁵⁸ qui définissent trois catégories.

La première catégorie comprend les substances qu'on sait être cancérogènes (C1), mutagènes (M1)²⁵⁹ ou reprotoxiques (R1) pour l'Homme sur la base de données épidémiologiques qui prouvent une relation de cause à effet entre l'exposition de l'Homme à ces composés et l'apparition d'un cancer, de défauts génétiques héréditaires, d'une altération de la fertilité ou d'effets toxiques ultérieurs sur le développement.

La deuxième catégorie regroupe les substances devant être assimilées à des substances cancérogènes (C2), mutagènes (M2) ou reprotoxiques (R2) pour l'Homme. La présomption de leur toxicité est forte et généralement fondée sur l'expérimentation animale, des études métaboliques, biochimiques et épidémiologiques.

Enfin, la troisième catégorie correspond aux substances préoccupantes pour l'Homme en raison d'effets cancérogènes (C3), mutagènes (M3) ou reprotoxiques (R3) possibles. Il s'agit de composés qui ne provoquent pas d'effets suffisants pour être classés dans la deuxième catégorie ou de composés qui doivent encore être étudiés²⁶⁰.

Il existe d'autres listes pour les substances génotoxiques. Il s'agit notamment du classement publié par le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) à Lyon – émanant de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) – dans lequel sont distingués cinq groupes de composés²⁶¹ :

- Groupe 1 : agents cancérogènes pour l'Homme,
- Groupe 2A : agents cancérogènes probables pour l'Homme,
- Groupe 2B : agents cancérogènes possibles pour l'Homme,
- Groupe 3 : agents non classables pour leur cancérogénicité pour l'Homme
(produits en attente d'évaluation),
- Groupe 4 : agent probablement non cancérogène pour l'Homme,
(un seul composé est donné en exemple).

²⁵⁷ Les substances classées reprotoxiques comprennent les effets sur la fertilité et sur le développement avant comme après la naissance. D'après Louis et Muller, 1998.

²⁵⁸ Picot *et al*, 1992, p.427-429.

²⁵⁹ Des exemples de telles substances sont inconnus à ce jour.

²⁶⁰ Louis et Muller, 1998.

²⁶¹ Picot *et al*, 1992, p.428.

Aux Etats-Unis, l'*Environmental Protection Agency* (EPA) publie également ce type de données avec un classement qui reprend celui du CIRC²⁶².

Pour les substances cancérogènes, mutagènes ou reprotoxiques classées dans la catégorie 1 ou dans le groupe 1, aucune exposition ne devrait être admissible²⁶³.

Rappelons, à ce titre, une fois encore, le caractère équivoque des valeurs seuil établies ; celles-ci doivent être prises en considération avec beaucoup de prudence.

LES EFFETS D'UNE INTOXICATION

La traduction dans l'organisme des effets d'un produit toxique diffère selon la substance (caractéristiques physico-chimiques), la dose absorbée, la durée d'exposition, le caractère cumulatif des doses ou des effets, la personne (état, aptitudes métaboliques, autres produits introduits dans l'organisme) et la voie de pénétration²⁶⁴.

Les organes et les tissus placés dans la zone de pénétration du xénobiotique (peau, poumons, intestin, cavité nasale...) et de la sortie des toxiques (foie, reins...) sont particulièrement exposés à leurs effets. Les cibles principales sont le foie, les reins, le système nerveux, les poumons et la peau.

Le foie est l'organe de prédilection de métabolisation des toxiques, il s'agit de notre principal « centre anti-poison ». Il est donc sujet à l'action de nombreux xénobiotiques dont les conséquences peuvent être une hépatite, une cirrhose, un cancer... Les reins jouent un rôle essentiel dans l'élimination de nombreuses substances qui peuvent provoquer des atteintes graves, telles qu'une insuffisance rénale ou une néphrite (aiguë ou chronique). Le système nerveux, constitué en grande partie de lipides, est particulièrement sensible aux composés lipophiles. Certains agissent sur l'influx nerveux et provoquent des phénomènes d'excitation puis de dépression pouvant aboutir à la mort ; d'autres, en s'accumulant, entraînent des encéphalites ou des polynévrites. Les poumons sont sensibles aux substances corrosives ou irritantes qui ont notamment pour effet des pneumoconioses et des oedèmes. Enfin, les effets d'une intoxication par voie transcutanée peuvent être locaux (allergie, nécrose) ou agir sur l'organisme en général, comme le font par exemple certains composés organophosphorés²⁶⁵.

²⁶² Picot *et al*, *La sécurité...*, 2007 ; Picot *et al*, 1992, p.429.

²⁶³ Huynh et Picot, 23.6.2008, *communications orales*.

²⁶⁴ Odegaard et Sadongei, 2005, p.73-74 ; Picot *et al*, 1992, p.37.

²⁶⁵ Cotonat, 1996, p.29-32 ; Janowski, 1989, p.57-58 ; Picot *et al*, 1992, p.38 et 51-52.

Au niveau moléculaire, les substances toxiques provoquent des modifications des macromolécules biologiques (alkylation, oxydation...) plus ou moins réversibles, essentiellement sur les protéines, les lipides insaturés et les acides nucléiques²⁶⁶. Lorsque ces derniers sont modifiés, des atteintes génotoxiques, tels que cancer, modification du patrimoine génétique et anomalies ou malformations de l'embryon peuvent survenir. L'absorption de doses minimales de certaines substances CMR peut avoir une action irréversible²⁶⁷.

Enfin, comme mentionnés ci-dessus, différents facteurs influencent les effets d'une intoxication, comme la taille des particules lorsqu'il s'agit de poussières, la solubilité des substances, la présence d'autres toxiques – une personne est rarement exposée à une seule substance pure, les habitudes alimentaires du sujet, la consommation de tabac²⁶⁸, d'alcool, de médicaments, le stress²⁶⁹.

Aussi, les modes d'intoxication et les effets qui en résultent sont extrêmement complexes.

2.1.2. Toxicité de quelques biocides résiduels

Le sous-chapitre qui suit présente brièvement quelques données toxicologiques des biocides retenus dans ce travail (tableau 2). Seuls les éléments actifs en tant que pesticides sont considérés. Toutefois, une étude plus complète devrait également prendre en compte les autres composés de ces substances (solvants, gaz propulseurs, additifs, etc.), ainsi que leurs sous-produits et produits de dégradation²⁷⁰.

Les biocides des familles des pyréthrine/pyréthrinoïdes et des carbamates/thiocarbamates, ne sont pas considérés dans ce document car il s'agit de composés dont la biodégradation photochimique est rapide (quelques jours à plusieurs mois). La persistance de résidus de ces pesticides dans les *naturalia* semble peu probable. Toutefois les pyréthrinoïdes sont encore utilisées aujourd'hui en raison de leur faible toxicité humaine et des précautions doivent être prises lors de la mise en œuvre de ces traitements car certaines sont allergisantes. La perméthrine et la deltaméthrine sont classées dans le groupe 3 par le CIRC (en attente d'évaluation)²⁷¹ et les valeurs limites d'exposition ne sont pas établies²⁷².

²⁶⁶ Picot *et al*, 1992, p.49.

²⁶⁷ Janowski, 1989, p.57-58.

²⁶⁸ La fumée de tabac perturbe notamment le fonctionnement des cils des zones respiratoires et aggrave les intoxications par les poussières. D'après Picot *et al*, 1992, p.37.

²⁶⁹ Picot *et al*, 1992, p.37.

²⁷⁰ Par exemple, le DDT peut se dégrader en DDE qui est également toxique. D'après Szulczynska, 2000, p.1. Le chlorure mercurique peut se transformer en chlorure mercurieux, qui lorsqu'il est réduit, libère des vapeurs de mercure élémentaire. D'après Briggs *et al*, 1983, p.454. L'arsenic peut être converti en un gaz hautement toxique, l'arsine (AsH₃), en présence de certaines bactéries dans des environnements clos. D'après Makos et Dietrich, 1995, p.237.

²⁷¹ Picot *et al*, *La sécurité...*, 2007, p.34 et 26.

Parmi les substances fortement volatiles, le disulfure de carbone n'est pas abordé ici. Certains musées l'utilisant encore, la remarque ci-dessus est également valable. Ce produit est classé reprotoxique par la CEE (R62-63²⁷³) et son réel danger est lié à sa très grande inflammabilité. En revanche, le formaldéhyde et l'éthanol sont présentés en raison de leur mise en œuvre très fréquente dans les collections de fluides.

Enfin, la créosote de hêtre ne figure pas dans ce tableau en raison de sa composition qui comprend essentiellement des produits phénoliques²⁷⁴. Précisons, cependant, qu'il est important de ne pas la confondre avec d'autres créosotes issues de la distillation du charbon ou du pétrole qui sont constituées en grande partie d'hydrocarbures aromatiques polycycliques. Si ces dernières présentent une toxicité aiguë modérée en expérimentation animale, ce sont des agents CMR classés dans le groupe 2A par le CIRC²⁷⁵.

Sauf indication complémentaire, les données compilées dans le tableau 2 proviennent des fiches toxicologiques publiées par l'INRS²⁷⁶, des fiches internationales de sécurité chimique²⁷⁷ publiées par le Centre international d'informations de sécurité et de santé au travail (CIS), de la Suva, de l'ACGIH (ces dernières ne sont indiquées que si elles diffèrent de celles de l'INRS), des classements du CIRC et de la CEE.

De nombreux organismes mettent à disposition des spécialistes les outils d'informations relatifs à la toxicité de différentes substances. On se référera à l'annexe 4 pour une liste détaillée. Ces documents pourront être consultés pour plus de détails ainsi que pour les substances qui ne sont pas présentées ci-dessous.

LEGENDE DU TABLEAU 2

Les voies de pénétration (VP) sont abrégées par les lettres suivantes :

- R : respiratoire,
- O : orale,
- P : peau,
- Y : yeux.

Le — indique qu'il n'y a pas d'information disponible actuellement.

²⁷² ICSC, *Deltaméthrine*, 1999 ; ICSC, *Perméthrine*, 1993.

²⁷³ « R62 : risque possible d'altération de la fertilité et R63 : risque possible pendant la grossesse d'effets néfastes pour l'enfant ». D'après Lowuis et Muller, 1998.

²⁷⁴ Picot, *Les créosotes...*, 2007, p.4-5, *non publié*.

²⁷⁵ Picot, *Les créosotes...*, 2007, p.1-3, *non publié*.

²⁷⁶ Mention non précisée pour les VLE et VME, mais apparaissant toujours en première ligne.

²⁷⁷ Titrées par l'abréviation ICSC : « International Chemical Safety Cards ».

Biocide (n° CAS)	VP	VLE (max. 15 min.)	VME (8 h)	Effets aigus	Effets à long terme	CMR
Trioxycide de diarsenic (1327-53-3)	R/O/P/Y	—	- 0,2 mg/m ³ - ACGIH TLV-TWA : 0,01 mg/m ³	Irritation des yeux, de la peau et des voies respiratoires. Sang, système cardio-vasculaire, système nerveux et foie.	Dermatite. Atteinte des voies respiratoires. Hyperkératose de la peau. Moelle osseuse (modifications hématopoïétiques). Système cardio- vasculaire. Système nerveux (encéphalite, polynévrite...). Foie (hépatite, cancer, cirrhose).	Groupe 1 C1 Reprotoxique ⁱ
Chlorure mercurique (7487-94-7)	R/O/P/Y	— Suva : 0,8 mg/m ³	0,1 mg/m ³	Irritation des voies respiratoires, des yeux et de la peau. Voies digestives. Reins (néphrites).	Sensibilisation cutanée. Système nerveux central et périphérique (ataxie, troubles sensoriels et de mémoire, faiblesse musculaire). Atteinte des reins (néphrites).	Groupe 3 Mutagène et reprotoxique ⁱⁱ Perturbateur endocrinien
Mercure (vapeurs) (7439-97-6)	R/P	— Suva : 0,4 mg/m ³ ou 0,04 ppm	- 0,05 mg/m ³ - ACGIH TLV-TWA : 25 µg/m ³	Irritation de la peau. Pneumonie. Système nerveux central. Reins	Système nerveux central (irritabilité, instabilité émotionnelle, troubles mentaux, de la mémoire et de la parole). Atteintes rénales (néphrites).	Groupe 3 Reprotoxique Perturbateur endocrinien
DDT (50-29-3)	R/O/P ⁱⁱⁱ	—	1 mg/m ³	Irritation. Système nerveux central (convulsions et respiration affaiblie).	Système nerveux central et foie.	Groupe 2B C3 Reprotoxique chez l'animal Perturbateur endocrinien
Lindane (58-89-9)	R/O/P/Y	—	- 0,5 mg/m ³ - Suva : 0,1 mg/m ³	Irritation des yeux, de la peau, des muqueuses et des voies respiratoires. Système nerveux central (convulsions et défaillance respiratoire).	Dermatite. Foie, reins et sang.	Groupe 2B ^{iv} Reprotoxique Perturbateur endocrinien
Dichlorvos (62-73-7)	R/O/P/Y	— Suva : 2 mg/m ³ ou 0,2 ppm	1 mg/m ³ ou 0,1 ppm	Irritation de la peau. Système nerveux central. Inhibiteur des cholinestérases.	Dermatite. Sensibilisation cutanée. Inhibiteur des cholinestérases.	Groupe 2B

suite...

ⁱ D'après Knapp, 2000, p.1.
ⁱⁱ D'après Purewal, 2001, p.83.
ⁱⁱⁱ Szulczynska, 2000, p.1.
^{iv} INERIS, 2005.

Tableau 2 : données toxicologiques de biocides résiduels.

Biocide (n° CAS)	VP	VLE (max. 15 min.)	VME (8 h)	Effets aigus	Effets à long terme	CMR
Naphtalène (91-20-3)	R/O/P	—	50 mg/m ³ ou 10 ppm	Cellules sanguines (hémolyse).	Sang (anémie hémolytique).	Groupe 2B C3
PDB (106-46-7)	R/O/P	306 mg/m ³ ou 50 ppm	- 4,5 mg/m ³ ou 0,75 ppm - ACGIH : TLV 10 ppm - Suva : 20 ppm	Irritation des yeux et voies respiratoires. Sang (anémie hémolytique). Système nerveux central.	Foie, reins et sang. Atteintes neurologiques.	Groupe 2B C3
Phénol (108-95-2)	R/O/P/ Y	— Suva : 19 mg/m ³ ou 5 ppm	- 7,8 mg/m ³ ou 2 ppm - Suva : 19 mg/m ³ ou 5 ppm	Irritation des yeux, de la peau et des voies respiratoires (œdème pulmonaire). Système nerveux central (défaillance respiratoire). Troubles cardiaques. Reins.	Dermatite. Foie, reins. Promoteur de cancérogènes.	Groupe 3 M3
Thymol ^v (89-83-8)	R/O/P/ Y	—	—	Irritation des voies respiratoires, des yeux et de la peau. Sang, reins et foie.	—	—
Nitrobenzène (98-95-3)	R/P/Y	— Suva : 10 mg/m ³ ou 2 ppm	5 mg/m ³ ou 1 ppm	Sang (formation de méthémoglobine). Diminution de la conscience. Irritation de la peau, des muqueuses oculaires et respiratoires.	Sang, foie.	Groupe 2B C3 R3 (R62)
Formaldéhyde ^{vi} (50-00-0)	R/P/Y	- 50 µg/m ³ sur 2h - CEE : 1 ppm - Suva : 0,74 mg/m ³ ou 0,6 ppm	- 10 µg/m ³ - ACGIH TLV-TWA : ? - CEE : 0,6 mg/m ³ ou 0,5 ppm - Suva : 0,37 mg/m ³ ou 0,3 ppm	Irritation des yeux et voies respiratoires (œdème pulmonaire).	Irritation des muqueuses oculaires et voies respiratoires. Allergène (eczéma, urticaire, rhinite, asthme, insuffisance rénale). Psychosyndrome organique (céphalées, asthénie...)	Groupe 1 (C3) ^{vii}
Éthanol (64-17-5)	R/O/P/ Y	- 9500 mg/m ³ ou 5000 ppm - Suva : 1920 mg/m ³ ou 1000 ppm	- 1900 mg/m ³ ou 1000 ppm - Suva : 960 mg/m ³ ou 500 ppm	Irritation des yeux et des voies respiratoires. Système nerveux central.	Dégraisse la peau. Voies respiratoires supérieures. Système nerveux central. Foies. Système cardio-vasculaire.	Par ingestion : Groupe 1 Reprotoxiques

^v EHS, *Thymol*, 2007. Ce composé ressemble au phénol dans ces actions systémiques. Il est toutefois moins toxique car presque insoluble.

^{vi} Données provenant de AFSSET, ... *Le formaldéhyde*, 2007. Pour des détails concernant ce composé et les différentes valeurs d'exposition : voir chapitre 4. où sont discutés les résultats des analyses faites à l'IST.

^{vii} Discussions en cours pour un classement en catégorie 1. D'après AFSSET, ... *Le formaldéhyde*, 2007, p.34-35.

Tableau 2 (suite) : données toxicologiques de biocides résiduels.

2.1.3. Évaluation des risques sanitaires

La démarche d'évaluation des risques sanitaires (ERS), formalisée en 1983 par l'Académie des Sciences américaine, a pour but de réaliser une synthèse la plus complète possible mais aussi critique concernant les données disponibles sur la toxicité proprement dite des substances et les possibilités d'exposition à celle-ci. Grâce à cette démarche systématique et la plus transparente possible, l'évaluation des risques sanitaires doit apporter des options argumentées permettant de réduire les risques identifiés.

Ce type d'étude s'effectue en quatre étapes. Elle consiste tout d'abord à identifier les dangers. On cherche ensuite à connaître les éventuelles relations dose-effet, c'est-à-dire la relation entre l'exposition à une substance considérée comme dangereuse et ses effets sur la santé. En troisième lieu, l'exposition est évaluée afin de déterminer les doses de substances auxquelles sont soumises les personnes dans une situation donnée. Enfin les risques sont caractérisés afin d'estimer s'ils sont acceptables ou comment ils peuvent être contrôlés et maîtrisés²⁷⁸.

La réalisation d'une évaluation des risques sanitaires nécessite une collaboration de différents professionnels rassemblant des représentants du musée concerné, des médecins du travail, toxicologues, épidémiologistes et si possible un hygiéniste spécialisé en métrologie ou un ingénieur en sécurité.

Au vu de la problématique de ce travail, la première étape d'une évaluation des risques sanitaires consiste à identifier les dangers par la mise en évidence de résidus de biocides, leurs sous-produits et leurs produits de dégradation²⁷⁹ (voir chapitre 1.2.). Il est donc nécessaire de connaître le comportement de ces composés dans l'environnement et la forme sous laquelle ils peuvent se présenter²⁸⁰. Il faut préciser par ailleurs que la concentration d'une substance sur la surface d'un spécimen ne peut pas être utilisée pour évaluer sa concentration aéroportée ou pour quantifier les risques d'ingestion et d'absorption²⁸¹.

La tâche de l'épidémiologiste consiste ensuite à déterminer la dangerosité de ces composés sur la base d'études ayant établi un lien entre l'exposition à ceux-ci et leurs effets sur l'organisme (études épidémiologiques et toxicologiques) – le danger d'une substance correspond à sa capacité intrinsèque à entraîner des effets indésirables²⁸². Les données épidémiologiques et toxicologiques doivent être utilisées et analysées tout en tenant compte de leurs limites. Les résultats obtenus sur l'animal ne sont pas toujours

²⁷⁸ Host *et al*, 2006, p.159 ; Kearney, 2001, p.45 ; Makos, 2001, p.93.

²⁷⁹ INRS. Métropol, 2005, p.1 ; Kearney, 2001, p.45 ; Makos, 2001, p.98.

²⁸⁰ Host *et al*, 2006, p.162.

²⁸¹ Makos, 2001, p.95. De plus, les biocides n'étant pas appliqués de manière homogène, cette mesure est difficile à estimer. Schieweck *et al* (2005, p.6106) mentionnent toutefois des quantifications de ce type.

²⁸² Host *et al*, 2006, p.160. Il est important de distinguer le « danger » du « risque ». Ce dernier correspond à la probabilité de survenue d'un problème, qui est l'expression du danger.

transposables d'une espèce à l'autre et encore moins à l'Homme²⁸³ ; d'où la prudence extrême lors de l'extrapolation des données chez l'animal vers l'Homme²⁸⁴.

La deuxième étape consiste à passer en revue la relation dose-effet des différentes substances identifiées (VLEP). Celle-ci diffère selon les conditions d'exposition (à court ou long terme) et les effets considérés (mutagènes, cancérogènes...) ²⁸⁵. Deux types de relation sont utilisés. La première consiste à rechercher le seuil d'exposition en dessous duquel les effets sanitaires chez l'Homme sont nuls. Ce seuil peut être établi à partir des données épidémiologiques ou extrapolé à partir d'expérimentations chez l'animal. On convient habituellement qu'il n'existe pas de seuil sans effet délétère sur les cellules de l'organisme pour les substances génotoxiques. Dès lors, il convient de rechercher une dose-seuil dont les effets correspondraient à un risque considéré comme acceptable si un Homme y était exposé toute sa vie. En général, un excès de risque – ou le dépassement des valeurs seuil – d'un cas pour 100 000 personnes exposées (10^{-5}) à un cas par million d'exposés (10^{-6}) est considéré comme acceptable²⁸⁶.

Troisièmement, l'évaluation de l'exposition est effectuée en fonction de la voie d'entrée des différents produits toxiques et de la manière dont s'effectue l'exposition selon l'activité des personnes concernées. En présence de risques d'inhalation, on prélève des échantillons d'air à l'aide de capteurs atmosphériques (prélèvements individuels ou à poste fixe²⁸⁷). Des prélèvements sur la peau à l'aide de tissus doux ou en posant des *patch* permettent d'estimer la dose d'exposition par contact cutané mais leur fiabilité est relative. Enfin, des prélèvements biologiques (sang, urine, air expiré) indiquent la dose d'exposition totale à tous les modes de pénétration des toxiques (biométrie ou monitoring biologique)²⁸⁸. Les scénarios d'exposition d'une personne sur son lieu de travail nécessitent de prendre en compte différents facteurs comme les procédures de travail, les mesures de sécurité et moyens de protection individuels, la configuration des lieux et les dispositifs de ventilation, ainsi que les données et fréquences d'exposition²⁸⁹.

²⁸³ Host *et al*, 2006, p.160 ; INRS, *Valeurs limites...* 2006, p.6 ; Makos, 2001, p.98.

²⁸⁴ Picot, 23.6.2008, *communication orale*.

²⁸⁵ Makos, 2001, p.98.

²⁸⁶ Host *et al*, 2006, p.160-161. A noter qu'il convient de ne pas oublier que l'établissement des valeurs seuils sont basées sur des recherches scientifiques, ainsi que sur des critères subjectifs liés à un consensus social échappant au domaine du médical.

²⁸⁷ Les mesures permettant de connaître la concentration d'un toxique dans un milieu donné peuvent être complétées par de la modélisation. D'après Host *et al*, 2006, p.162.

²⁸⁸ INRS. Métropol, 2005, p.2 ; Makos, 2001, p.101-103. L'INRS, entre autres, met à disposition des spécialistes un inventaire des dosages biologiques disponibles pour une série de substances (Biotox), ainsi que les méthodes de prélèvement et d'analyse de l'air de différents polluants (Métropol).

²⁸⁹ INRS. Métropol, 2005, p.2.

Enfin, la quatrième étape consiste à faire la synthèse des points précédents afin de quantifier les risques. Il s'agit d'un exercice compliqué en raison du nombre de facteurs dont il faut tenir compte et de la complexité des modes d'intoxication²⁹⁰.

L'interprétation des résultats et leur comparaison avec les valeurs limites d'exposition doivent prendre en compte les incertitudes et approximations de l'échantillonnage et de la fixation de ces valeurs limites, ainsi que leur variabilité. En effet, ces valeurs concernent des expositions à des substances pures, alors que les professionnels sont presque toujours exposés à plusieurs produits ou à des mélanges de produits, parfois susceptibles d'avoir des comportements différents lorsqu'ils sont présents simultanément²⁹¹.

En dernier lieu, lorsque les risques ont été évalués et s'ils ne peuvent être supprimés, on cherche des moyens pour les contrôler et les maîtriser²⁹². La gestion des risques consiste à prévenir, supprimer ou limiter les effets des toxiques ou trouver des produits de remplacement²⁹³.

2.1.4. Évaluation des risques et épidémiologie dans les musées

La littérature relatant des exemples de mesures de la qualité de l'air, de biométrie ou d'évaluations des risques sanitaires face à la présence de biocides résiduels dans les musées est extrêmement restreinte. La documentation consultée pour ce travail a permis de rassembler les études suivantes :

- Jardin botanique de Lyon : mercure²⁹⁴,
- Muséum d'histoire naturelle de Grenoble : formaldéhyde, lindane, PDB, arsenic et mercure²⁹⁵,
- Musée d'histoire naturelle de Londres : arsenic, mercure, naphtalène et PDB²⁹⁶,
- Collection de botanique de l'université de Cambridge : vapeurs de mercure²⁹⁷,
- Musée d'histoire naturelle de Denver : arsenic et DDT²⁹⁸,
- Collection de botanique de l'université du Nebraska : vapeurs de mercure²⁹⁹,
- Collection de botanique du Musée national de Wales : arsenic, mercure et baryum³⁰⁰,
- Collections ethnographiques du *Thomas Burke Memorial Washington State Museum* et du département d'anthropologie de l'université : arsenic, mercure et plomb³⁰¹,

²⁹⁰ Host *et al*, 2006, p.159.

²⁹¹ Host *et al*, 2006, p.164 ; Suva, 2007, p.20 et 24.

²⁹² Kearney, 2001, p.45 ; Makos, 2001, p.93.

²⁹³ Host *et al*, 2006, p.163.

²⁹⁴ Pautz, 19.11.2007, *communication orale*.

²⁹⁵ Poncet, 10.1.2008, *communication orale*.

²⁹⁶ Muir, 1981.

²⁹⁷ Briggs *et al*, 1983.

²⁹⁸ Mentionné par Osorio, 2001, p.85.

²⁹⁹ Mentionné par Osorio, 2001, p.86.

³⁰⁰ Purewal, 1999 et 2001.

³⁰¹ Nason, 2001.

- Collections de fluides du *National Park Service* : formaldéhyde³⁰²,
- Musées allemands (quatre) : DDT, pentachlorophénol (PCP), lindane, methoxychlore, naphtalène, arsenic, etc.³⁰³,
- Collections de botanique de l'université de Madrid : vapeurs de mercure³⁰⁴.

Cette rareté bibliographique affecte aussi les informations épidémiologiques relatives à des intoxications dans les musées.

Quelques cas d'intoxication aiguë liée à la présence de biocides résiduels dans les collections ont été rapportés. On consultera notamment Bauer et Fuortes (1999) qui évoquent des problèmes de santé survenus après travail dans des herbiers contaminés au mercure. Linnie (1997) liste également brièvement quelques cas d'intoxication aiguë et chronique, ainsi que des plaintes médicales liées à l'utilisation de pesticides. Signalons aussi le cas d'une intoxication chronique (ou sub-aiguë) à l'arsenic d'un taxidermiste du MJSD, dans les années 1940-1950 : « A ce moment là, il ne naturalisait pas, donc n'employait pas d'arsenic. Mais, en nettoyant les oiseaux des vitrines après l'explosion, il les tapotait pour en faire tomber le plâtre, et il faisait aussi tomber de l'arsenic par les coutures. [...] Bilan : 6 mois sur son lit et ne pas pouvoir supporter le moindre vêtement sur la peau. »³⁰⁵

Notons aussi que, lors d'enquêtes, quelques personnes ont remarqué le décès prématuré de certains collègues retraités ; des entomologistes notamment. Bien que la relation entre pratique professionnelle et maladie soit extrêmement difficile à démontrer, en raison du nombre de facteurs à prendre en compte, une étude de ce type reste encore à réaliser et ce genre d'information à vérifier.

2.1.5. Synthèse

Pour achever ce chapitre, il faut souligner le fait que les substances classées CMR1 sont connues pour être particulièrement dangereuses et qu'aucune exposition à celles-ci ne devrait être admissible.

De plus, la mise en place d'une ERS est une tâche passablement complexe qui implique la collaboration de spécialistes de différents domaines. Quelques musées ou institutions l'ont partiellement effectué. Enfin, des données épidémiologiques concernant des travailleurs de musée sont presque inexistantes à l'heure actuelle et mériteraient d'être étudiées.

³⁰² Burroughs *et al*, 2006.

³⁰³ Schieweck *et al*, 2005 et 2007.

³⁰⁴ Oyarzun *et al*, 2007.

³⁰⁵ Perrot, 1983, p.7, *non publié*. « L'explosion » fait probablement référence à l'attaque allemande de septembre 1944 qui a fait sauter la gare (à proximité) et engendré des dégâts importants du musée et des collections. D'après Chabeuf et Philibert, 1980, p.11.

2.2. EFFETS SUR LES MATERIAUX CONSTITUTIFS DES SPECIMENS

Préalablement à la description des dégradations issues de l'emploi de pesticides, il apparaît important de préciser que les spécimens ne présentant pas d'altérations majeures dues aux nuisibles sont la preuve de l'efficacité de ces traitements. Aussi, l'utilisation de tels produits a permis de conserver ces collections jusqu'à aujourd'hui³⁰⁶.

Les phénomènes d'altération des matériaux dus aux biocides sont peu connus et les recherches sur ce sujet sont assez rares. Ces données se basent essentiellement sur des observations visuelles. De plus, le manque d'informations et de documentation concernant les traitements passés accentue la difficulté à distinguer des dommages dus aux pesticides de ceux causés par d'autres agents³⁰⁷. Aussi, les informations rassemblées sont-elles souvent floues, peu précises, tant au niveau des mécanismes d'altération que des matériaux concernés.

Les *naturalia* étant des collections composites, une grande diversité de matériaux a été prise en compte dans ce chapitre. Outre les matériaux constitutifs des spécimens à leur état naturel (collagène, kératine, chitine, cellulose...), sont également considérés les matériaux et produits de préparation et de conservation³⁰⁸. Ainsi, les éléments métalliques qui structurent les montages (mammifères, oiseaux, reptiles, amphibiens et poissons) ou qui maintiennent les plantes et les insectes sur leur support ; certains spécimens sont peints et/ou vernis (poissons, reptiles, becs et pattes des oiseaux, etc.) ; les tissus mous sont modelés dans divers matériaux (cire, résines synthétiques, etc.) les matériaux de bourrage/remplissage sont extrêmement variés (paille, étoupe, sciure, polymères synthétiques, etc.) ; les étiquettes sont constituées de papier, d'encre, de colle, etc.³⁰⁹.

La question de la conservation/dégradation du matériel génétique (ADN) fait l'objet d'une note à part au chapitre 2.2.4.

³⁰⁶ Goldberg, 1996, p.38-39 ; Purewal, 2001, p.77.

³⁰⁷ Goldberg, 1996, p.38 ; Tello, 2006, p.34.

³⁰⁸ A ce sujet, on pourra se référer aux revues bibliographiques suivantes : Jullien, Franz *et al.* Essai de bibliographie analytique en taxidermie à l'usage des taxidermistes de musée. In *Bulletin de liaison des musées d'histoire naturelle*, n° spécial, 1986 ; Rogers, Stephen *et al.* *An Annotated Bibliography on Preparation, Taxidermy, and Collections Management of Vertebrates with Emphasis on Birds*. Special Publication 15, Carnegie Museum of Natural History, Pittsburgh, 1989 ; Williams et Hawks, 1987.

³⁰⁹ Bien que cette notion soit discutable, les supports et étiquettes sont ici considérés comme partie intégrante des spécimens.

CONSERVATION/DEGRADATION DUE AUX BIOCIDES

Des changements indésirables sur les spécimens peuvent être provoqués par les biocides ou par leur mauvaise application³¹⁰. Même si nous nous intéressons aux substances actives des pesticides, les solvants, émulsifiants, gaz propulseurs et autres additifs peuvent également être dommageables. Ils sont susceptibles de causer des taches, des décolorations, des altérations physiques, de laisser des dépôts en surface, etc.³¹¹.

Certaines altérations sont dues à un effet cumulatif en raison de la répétition de certains traitements³¹².

Tétreault (2003) adopte une approche semblable à celle utilisée en gestion des risques sanitaires pour évaluer la « dose minimale de polluant avec effets nuisibles observables »³¹³. En d'autres termes, il s'agit de valeurs seuils à partir desquels certains composés provoquent des altérations, afin d'estimer le temps d'exposition admissible des matériaux aux contaminants avant que n'apparaissent des dégradations. Malheureusement, à ce jour, les biocides n'ont pas fait l'objet de ce type de recherche.

2.2.1. Biocides inorganiques

L'ARSENIC appliqué à l'intérieur des peaux peut migrer vers l'extérieur sous forme d'efflorescences minérales qui se traduisent par des dépôts poudreux ou cristallins blancs à la base des phanères, autour des yeux, de la gueule ou du bec, dans les oreilles, au niveau des coutures et des extrémités³¹⁴. Ce phénomène, qui se produit lors d'une déshydratation du derme, était déjà connu au début du XIX^e siècle. Il n'entraîne pas d'altération particulière, mais peut gêner la lisibilité des spécimens³¹⁵, sans toutefois altérer la coloration du plumage des oiseaux³¹⁶.

La mise au point et l'utilisation du savon de Bécoeur dès 1773 a permis une nette amélioration en termes de conservation des *naturalia*³¹⁷. Farber (1987) considère même le savon arsenical comme un élément clé dans le développement de l'ornithologie³¹⁸.

³¹⁰ Dawson et Strang, 1992, p.3-6 ; Unger *et al*, 2001, p.259.

³¹¹ Dawson, 1988, p.146-147.

³¹² Williams et Hawks, 1992, p.741.

³¹³ Tétreault, *Lignes...*, 2003, p.4.

³¹⁴ Knapp, 2000, p.2 ; Péquignot *et al*, 2006, p.5.

³¹⁵ Vallée, 2000, p.55.

³¹⁶ Pohland et Mullen, 2006, p.465.

³¹⁷ À ce sujet, on lira notamment le travail d'A. Péquignot (2002).

³¹⁸ Farber, Paul Lawrence. The Development of Taxidermy and the History of Ornithology. In *Isis*, 1987, n°68, p.244. Cité par Hendry, 1999, p.3.

On sait dès le début du XX^e siècle que le CHLORURE MERCURIQUE rend la peau des oiseaux cassante³¹⁹, quoiqu'il n'altère pas les couleurs du plumage³²⁰.

De plus, ce biocide, essentiellement appliqué dans les collections d'herbiers, est susceptible de former des taches gris noir caractéristiques sur les planches et les étiquettes (fig. 1). Celles-ci deviennent alors illisibles et mettent en péril la valeur scientifique des spécimens³²¹. Des analyses ont montré que ces taches contiennent du métacinabre (β -HgS), un composé formé d'oxyde et de sulfure de mercure ($2\text{HgO}\cdot\text{HgS}$), ainsi que du chlorure mercurique³²². La présence de sulfures et d'oxydes serait causée par une réaction entre le biocide et le soufre contenu dans le papier de montage et par une réaction entre le papier et l'air³²³. De plus, les résidus de chlorure mercurique forment un dépôt, visible sous microscope électronique à balayage, qui peut interférer avec des études biochimiques³²⁴.

Ce composé est susceptible de corroder les métaux³²⁵.

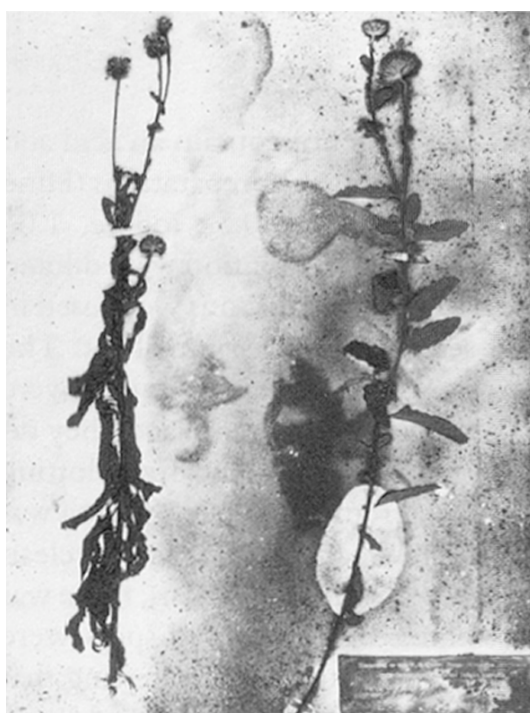


Figure 1 : taches gris noir sur une planche d'herbier.

³¹⁹ Anonyme. *Handbook of Instructions for Collectors*. 2nd ed. British Museum (Natural History)/Longmans and Co., London, 1904. Cité par Hendry, 1999, p.3.

³²⁰ Pohland et Mullen, 2006, p.465.

³²¹ Hawks et Bell, 1999, p.723.

³²² L'aspect métallique et brillant de certaines taches laisse supposer que du mercure élémentaire pouvait également être présent. Celui-ci est difficile à identifier.

³²³ Hawks *et al*, 2004, p.783.

³²⁴ Purewal, 1999, p.7.

³²⁵ ICSC, *Chlorure mercurique*, 1999.

2.2.2. Biocides organiques

BIOCIDES ORGANOCHLORES

Le DDT, biocide très longévif, peut persister dans les spécimens durant plusieurs dizaines d'années³²⁶. Il est susceptible de s'accumuler dans les graisses³²⁷, de se dégrader en DDE (dichlorodiphényldichloroéthylène, $C_{14}H_8Cl_4$)³²⁸ et de produire de l'acide chlorhydrique et du chlore³²⁹. Différents auteurs relèvent la présence d'efflorescences blanches de DDT en surface d'artefacts³³⁰. Des dépôts blancs peuvent également être observés sur les objets suite au mode d'application par poudrage³³¹. Après une exposition de 72 heures au DDT en poudre, de l'encre bleue présentait une décoloration. Toutefois, aucun effet n'a été noté sur le bois, les métaux – excepté pour un objet ferreux exposé durant 6 jours à une solution de DDT – et des pigments organiques modernes³³².

Le LINDANE est un composé stable qui se décompose en présence de matériaux alcalins pour former du 1,2,4-trichlorobenzène ($C_6H_3Cl_3$) et du chlorure d'hydrogène (HCl_g), hautement corrosif. Il est potentiellement dommageable pour les matériaux sensibles à un environnement acide et est susceptible de provoquer des dégradations physiques et chimiques sur certains papiers et encres³³³. Enfin, un effet corrosif sur les métaux a été remarqué³³⁴.

BIOCIDE ORGANOPHOSPHORE

Le DICHLORVOS est incompatible avec les matériaux alcalins, corrosif pour la plupart des métaux ; il attaque le caoutchouc. Il est susceptible de ramollir certaines gommages et résines et assombrit la mousse polyuréthane³³⁵ et le polystyrène³³⁶. Il attaque certaines couleurs et surfaces peintes et affaiblit la structure des matériaux celluloses³³⁷. Hydrolysé, il se décompose en phosphate de diméthyle (C_2H_7P) et en dichloroacétaldéhyde ($C_2H_2Cl_2O$), qui sont des composés acides³³⁸. Ce dernier est volatile et susceptible

³²⁶ Dawson, 1988, p.139.

³²⁷ Kelmann, 199, p.12.

³²⁸ Szulczynska, 2000, p.1.

³²⁹ Dawson, 1988, p.139. À savoir que les produits alcalins dégradent les pigments et dénaturent les protéines et les acides hydrolysent le collagène et corrodent les métaux. D'après Williams et Hawks, 1992, p.741.

³³⁰ Dawson, 1988, p.137 ; Unger *et al*, 2001, p.259-260.

³³¹ Glastrup, 1987, p.62.

³³² Dawson, 1988, p.138.

³³³ *Ibid*, p.141-142.

³³⁴ Unger *et al*, 2001, p.197.

³³⁵ Dawson, 1988, p.139 ; INRS, *FT 116*, 2007, p.1.

³³⁶ Williams *et al*, 1989, p.54.

³³⁷ Knapp, 1993, p.2.

³³⁸ Monro, 1970, p.79.

de s'oxyder en un peroxyde hautement réactif³³⁹. Une étude sur du matériel ostéologique a démontré que ce biocide entraîne la migration des graisses, elles-mêmes susceptibles de se transformer en acides gras et de rendre la surface poisseuse retenant alors la poussière. Des échantillons de peau ayant subi les mêmes tests ont permis de noter un gain de poids qui suggère que des résidus de dichlorvos ou de sous-produits subsistent dans le matériau. Un abaissement du pH a également été relevé, ainsi qu'un effet d'oxydation (scission des chaînes protéiniques) et de dégradation des tissus de collagène³⁴⁰.

BIOCIDES DE LA CLASSE DES HYDROCARBURES AROMATIQUES ET HALOGENES

Lorsqu'une chute de température se produit, le NAPHTALENE est susceptible de recristalliser et de se déposer sur les spécimens³⁴¹. Toutefois, il n'est pas corrosif. Il peut ramollir certaines résines naturelles et dissoudre les graisses³⁴². Williams (1999) note que ce composé provoque une dégradation du collagène. Enfin, une série de tests par examen visuel n'a pas révélé de changements sur différents matériaux, comme la fourrure, certains métaux, le polystyrène, le polyéthylène...³⁴³ Et l'étude de Pohland et Mullen (2006) indique que le naphthalène n'altère pas la coloration du plumage des oiseaux.

Le PARADICHLOROBENZENE est susceptible de dissoudre les graisses, les résines, les cires et les gommages³⁴⁴. Il agit également sur le collagène³⁴⁵ et des altérations sur des plumes ont été remarquées suite à l'utilisation de ce biocide³⁴⁶. Dans un espace clos, la formation de chlore gazeux, qui a un fort pouvoir oxydant, peut entraîner la décoloration des spécimens de manière irréversible. Il peut modifier certains pigments (blanc de zinc, lithopone, outremer et certains rouges), provoquer un jaunissement du papier et une décoloration de l'encre. Une réaction a été observée avec des mousses de polystyrène qui se sont fortement contractées. Après deux ans d'exposition, des échantillons de plomb, de cuivre et d'argent ne présentaient pas de dégradation³⁴⁷.

³³⁹ Williams *et al*, 1986, p.346.

³⁴⁰ Williams, 1999, p.96-103. Pour des détails concernant cette étude, on se référera également à Williams *et al* (1989). L'action du DDVP a également été testée sur différents préservatifs et biocides (alun, borax, arsenic blanc, chlorure mercurique...). Knapp (1993) relève également une interaction entre ce pesticide et le thymol.

³⁴¹ À ce sujet, on pourra également consulter Chapman, Erin. *Ascertaining the Residue Effect of Naphtalene Recrystallisation in Natural History Bat Collections*. Minor Thesis – Master of Arts, Centre for Cultural Materials Conservation, University of Melbourne, 2007.

³⁴² Dawson, 1988, p.143 ; Dawson et Strang, 1992, p.15-16.

³⁴³ Dawson, 1988, p.144.

³⁴⁴ *Ibid.*

³⁴⁵ Williams, 1999, p.101-103.

³⁴⁶ Dawson, 1986, p.351.

³⁴⁷ Dawson, 1988, p.144.

BIOCIDES DE LA CLASSE DES PHENOLS ET PHENOLS SUBSTITUES

Dawson et Strang (1991) rapportent que le THYMOL peut provoquer un ramollissement des gommages, des résines naturelles, des peintures et des vernis, ainsi qu'un jaunissement de certains papiers. Il peut également recristalliser sur les surfaces³⁴⁸. Certains polymères modernes synthétiques se ramollissent et jaunissent suite à l'action de ce composé³⁴⁹. Il est incompatible avec le camphre³⁵⁰.

L'ESSENCE DE MIRBANE ou nitrobenzène est un composé stable dans les conditions normales de température et de pression. Il est susceptible d'attaquer de nombreux polymères synthétiques modernes et les métaux, tels que l'étain et le zinc³⁵¹.

BIOCIDES DE LA CLASSE DES PHYRETHRINES ET PYRETHRINOÏDES

Bien que peu testées, aucun effet n'est connu et n'a été observé sur les matériaux suite à leur utilisation³⁵². Certains composés contenus dans les aérosols et fumigènes peuvent provoquer des altérations. Il s'agit notamment des mélanges contenant du chlorate de potassium ($KClO_3$) susceptible de libérer du chlorure d'hydrogène (HCl), corrosif³⁵³. Unger *et al.* (2001) indiquent également que la perméthrine provoque une faible corrosion de l'acier, du cuivre et de l'aluminium.

BIOCIDES DE LA CLASSE DES CARBAMATES ET THIOCARBAMATES

Parmi les biocides de la classe des CARBAMATES ET THIOCARBAMATES, un des produits d'hydrolyse du bendiocarbe, l'aminométhane (CH_3NH_2 sous forme de gaz à température ambiante), est un bon solvant pour beaucoup de substances organiques. Toutefois, nous ne savons pas encore dans quelle mesure ceci peut être problématique pour les collections. Lorsque ce biocide est appliqué sous forme de poudre, à température normale, il n'a pas d'action en tant que fumigant, ce qui réduit les risques d'altération sur les

³⁴⁸ Dawson et Strang, 1991, p.7.

³⁴⁹ Child, 1995, p.100.

³⁵⁰ EHS, *MSDS T3328*, 2007.

³⁵¹ INRS, *FT 84*, 1997, p.1.

³⁵² Child, 1995, p.98 ; Dawson et Strang, 1992, p.24.

³⁵³ Child, 9.6.2008, *communication écrite*.

matériaux alentours. Le carbaryl est mentionné dans la littérature comme étant non corrosif³⁵⁴. Enfin, le propoxur, dans des conditions climatiques normales ne devrait pas poser de problème³⁵⁵.

BIOCIDES SOUS FORME DE FUMIGANTS

Le DISULFURE DE CARBONE possède un haut pouvoir de pénétration³⁵⁶ et peut ternir les métaux et solubiliser les graisses, les résines, les cires, les vernis, les huiles et les gommes. Toutefois, différents tests d'utilisation sous forme gazeuse sur des polychromies et du papier n'ont pas provoqué d'altération significative³⁵⁷. L'étude de Williams (1999) démontre que ce biocide entraîne des dégradations du collagène. Les fumigations à l'aide de ce composé sont donc potentiellement dommageables. Sous forme liquide, il est susceptible de laisser des taches jaunes.

Le FORMALDEHYDE sous forme de gaz réagit avec les protéines (principe du fixatif, voir p.17) et provoque un durcissement des tissus. Il présente également des effets sur les matériaux kératineux³⁵⁸, mais n'altère pas la couleur du plumage des oiseaux³⁵⁹. En présence d'eau, ce composé précipite sous forme de poudre blanche, qui est susceptible de se déposer sur les spécimens³⁶⁰. La corrosion d'objets en plomb stockés dans des boîtes en bois contenant du formaldéhyde a été remarquée. Toutefois, ce phénomène semble difficile à reproduire en laboratoire. Aussi, le rôle attribué à ce composé en termes d'altérations est certainement faible, contrairement à ce qui a pendant longtemps été affirmé. L'oxydation du formaldéhyde en acide formique (HCOOH) peut engendrer des altérations³⁶¹.

2.2.3. Spécimens en fluide

Von Endt (1994) a mené une étude concernant la stabilité d'une dizaine de spécimens – rongeurs et chauves-souris – datés de la seconde moitié du XIX^e siècle et conservés dans des solutions d'ETHANOL à 70% et d'eau³⁶². L'analyse de quelques composés organiques contenus dans ces fluides a permis de

³⁵⁴ Dawson, 1988, p.136-137.

³⁵⁵ *Ibid*, p.146.

³⁵⁶ Monro, 1970, p.66.

³⁵⁷ Dawson, 1988, p.137.

³⁵⁸ Unger *et al*, 2001, p.314 et 317.

³⁵⁹ Pohland et Mullen, 2006, p.465.

³⁶⁰ Unger *et al*, 2001, p.314 et 317 ; Zimmerli, 15.4.2008, *communication orale*.

³⁶¹ Tétreault, *Polluants...*, 2003, p.19-20.

³⁶² Von Endt, 1994, p.10-12.

montrer que des graisses ont été hydrolysées et ont migré dans le médium de conservation. La perte de ces lipides entraîne un changement de forme des spécimens qui correspond à des retraits et diminution de volume³⁶³. Le liquide peut devenir jaune brun et en cas de forte concentration, des résidus de graisses sont visibles et susceptibles de former un dépôt en surface du spécimen et au fond du bocal³⁶⁴.

La présence d'acides aminés dans ces solutions indique également que des protéines sont dégradées. Par conséquent, les tissus sont rendus inexploitable pour des études histologiques. Ainsi, la dissolution lente des composés organiques structurels des spécimens se traduit par un affaiblissement général et un rétrécissement des tissus³⁶⁵.

L'acidification de l'éthanol, provoquée par la formation d'acides gras lors de la dissolution des lipides³⁶⁶, rend les spécimens fragiles et provoque la décalcification des os et des dents³⁶⁷.

La couleur des spécimens peut également être altérée par ce fluide. Les lipochromes – jaunes, oranges et rouges – des vertébrés sont par exemple des pigments solubles dans l'alcool³⁶⁸.

De même que l'éthanol, le FORMALDEHYDE ne permet pas de fixer les lipides qui sont donc susceptibles de migrer dans le fluide et l'acidifier. L'abaissement du pH de la solution est également lié à l'oxydation de ce composé en acide formique. Il en résulte un durcissement et la fragilisation des chairs, ainsi que la décalcification des os et des dents. Enfin, le formaldéhyde peut aussi polymériser pour former un dépôt solide pouvant adhérer au spécimen et dans le fond du bocal³⁶⁹.

2.2.4. Note sur la conservation/dégradation de l'ADN

L'ADN (acide désoxyribonucléique) est un polymère constitué d'unités nommées nucléotides et liées entre elles en chaîne linéaire. Il se présente sous forme de deux de ces chaînes liées entre elles par des ponts-H et formant une structure hélicoïdale. L'information génétique provient de la séquence d'un ADN, soit de l'ordre de ses nucléotides³⁷⁰.

Différents types de dégradation de l'ADN peuvent se produire. Cette molécule peut être dénaturée par rupture des liaisons hydrogènes entre les deux chaînes hélicoïdales. Ce type d'altération rend la molécule

³⁶³ Von Endt, 1994, p.16.

³⁶⁴ Moore, 1999, p.108 ; Simmons, 1995, p.173.

³⁶⁵ Von Endt, 1994, p.18.

³⁶⁶ Simmons, 1995, p.165.

³⁶⁷ Jones et Owen, 1987, p.51 et 57 ; Simmons, 1995, p.167.

³⁶⁸ Simmons, 1995, p.161.

³⁶⁹ Jones et Owen, 1987, p.57 ; Simmons, 1995, p.167.

³⁷⁰ Brown, 1999, p.133.

plus facilement sujette à des attaques chimiques, mais n'entrave pas la lecture de la séquence. Une réticulation peut également survenir entre ces deux chaînes, interférant alors avec les méthodes analytiques de la séquence des nucléotides. Il est également possible qu'il y ait des ruptures au sein des chaînes. Toutefois, la recherche d'information taxonomique nécessite rarement plus de 1000 nucléotides et des fragments qui en contiennent 250 sont déjà lisibles. Enfin lorsque des modifications chimiques sont provoquées (addition, suppression ou substitution d'un groupe chimique) au sein des nucléotides, leur séquence n'est alors plus lisible³⁷¹.

L'ADN peut subir des modifications chimiques en présence d'acides et d'alkalis dont les effets sont accentués par la présence d'autres composés, comme des ions métalliques. Les substances mutagènes sont susceptibles de provoquer l'altération de l'ADN par modification chimique (alkylation), par réticulation ou par rupture des chaînes. Parmi les biocides présentés ou mentionnés dans ce travail, l'arsenic, le chlorure mercurique, le lindane, les organophosphorés (dichlorvos), le paradichlorobenzène, le formaldéhyde³⁷², le bromure de méthyle et l'oxyde d'éthylène sont susceptibles d'altérer l'ADN³⁷³. Par contre, les composés suivants sont probablement sûrs : le camphre, le naphtalène, le phénol, le bendiocarbe, le disulfure de carbone, la phosphine et les alcools³⁷⁴.

Parmi les méthodes de fixation/préservation des spécimens, le formaldéhyde a été étudié plus spécifiquement. Il provoque une dénaturation rapide de l'ADN, des ruptures au sein des chaînes, ainsi que des modifications chimiques. Toutefois, dans les cellules, l'ADN est lié aux protéines, ce qui lui assure une certaine protection. La dégradation de l'ADN des spécimens conservés dans ce fluide serait donc plutôt liée à une modification chimique provoquée par l'acide formique généralement présent dans la solution³⁷⁵.

2.2.5. Synthèse

Bien que l'efficacité des différents biocides contre les nuisibles ne soit pas discutée ici, certains d'entre eux ont permis de conserver une partie des collections composées de matériaux organiques. La persistance de pesticides comme l'arsenic permet aujourd'hui encore de maintenir une protection contre les altérations biologiques.

³⁷¹ Brown, 1999, p.134.

³⁷² *Ibid*, p.135-136.

³⁷³ Kigawa *et al*, 2003.

³⁷⁴ Brown, 1999, p.135-136.

³⁷⁵ *Ibid*, p.137.

Si les biocides se révèlent être à l'origine de bon nombre de dégradations : changements de couleur, solubilisation, corrosion, etc., ces altérations peuvent également être causées par d'autres agents. Les dépôts blancs, résultats d'efflorescences, peuvent par exemple aussi provenir de sels d'alun ou de chlorure de sodium utilisés dans les traitements préservatifs des spécimens³⁷⁶. De même, la migration des graisses au sein des tissus peut être le résultat de variations climatiques³⁷⁷.

Les données sur les mécanismes d'altération liés aux biocides résiduels sont souvent floues et nécessitent des recherches plus poussées. Une étude au niveau moléculaire de l'action des pesticides encore utilisés aujourd'hui devrait être réalisée pour préciser l'éventuelle innocuité de ces traitements sur les matériaux.

Enfin, ces recherches sont rendues complexes en raison de la diversité d'éléments à prendre en compte face à ces matériaux composites.

³⁷⁶ Vallée, 2000, p.55.

³⁷⁷ Pour différentes altérations spécifiques aux *naturalia*, on lira Cuisin (2004) qui expose les dégradations pouvant survenir avant et/ou pendant les étapes de préservation des spécimens.

3. LA GESTION DES BIOCIDES

3.1. MESURES DE SECURITE ET EQUIPEMENTS DE PROTECTION

La présence de biocides dans les collections d'histoire naturelle peut donc poser des problèmes de santé pour les personnes amenées à manipuler les spécimens et plus particulièrement, celles qui subissent une exposition répétée.

Face à la diversité et aux difficultés de quantification de produits résiduels³⁷⁸, la détermination précise des risques qui en découlent est complexe à établir et implique un financement. Aussi, dans le but de prévenir tous problèmes éventuels d'intoxication, il importe d'appliquer différentes mesures de sécurité. Ces règles sont générales et peuvent difficilement être précisées ou détaillées en l'absence d'évaluation des risques sanitaires pour des scénarios d'exposition particuliers.

La prévention des risques peut se faire en agissant au niveau de la source ou entre la source et la cible du toxique. Dans le premier cas, en supprimant ou limitant l'émission des biocides en intervenant au niveau des collections (soit en isolant le spécimen, soit en le décontaminant³⁷⁹). Dans le second cas, en supprimant ou limitant les possibilités d'entrée de ces composés dans le corps (réduction du contact et du temps d'exposition).

Ce chapitre est consacré aux moyens et équipements de protection collectifs et individuels à utiliser selon les modes de pénétration des toxiques, ainsi qu'aux principes de prévention à appliquer et aux conduites à tenir en fonction des différents grands domaines d'activité des musées ou institutions conservant des *naturalia*³⁸⁰. Certaines affirmations relèvent tout simplement du bon sens, mais les rappeler apparaît utile³⁸¹.

³⁷⁸ Qu'il s'agisse des composés dans l'environnement ou dans l'organisme et de leur dose active.

³⁷⁹ La problématique de la décontamination des spécimens est présentée dans le chapitre suivant (3.2.).

³⁸⁰ À savoir, l'étude et la conservation-restauration de ces collections et leur utilisation à des fins d'exposition et d'animation.

³⁸¹ Les données présentées ci-dessous ne sont pas référencées de manière détaillée en raison de leurs similitudes dans les différentes sources consultées. Sauf mention particulière, elles ont été compilées d'après : Anonyme, 2002, p.1-2 ; CCQ, 2004 ; Hawks et Makos, 2001 ; Makos et Dietrich, 1995, p.237 et 241-247 ; Norbut Suits, 1998, p.3-4 ; Odegaard *et al*, 2006, p.87-90 ; Picot *et al*, 1992, p.6-9.

3.1.1. Première mesure de sécurité

INFORMATION ET RESPONSABILITE

Avant tout, il faut que les dangers (à défaut de connaître les risques) soient connus et compris par toutes les personnes concernées afin qu'elles puissent agir et se protéger de manière adéquate et performante. En effet, des informations concernant les composés toxiques probables, leurs voies de pénétration et les conduites à tenir doivent être diffusées. En d'autres termes, les règles et mesures de sécurité doivent être expliquées et justifiées afin de faciliter leur mise en application. La collaboration avec des spécialistes (médecins du travail, services d'hygiène et de sécurité, toxicologues, épidémiologistes...) est primordiale.

Des fiches de procédures ou des règlements devront être rédigés selon les différentes activités autour des collections et pour chaque corps de métier.

Il en va de la responsabilité et du devoir de chacun pour que le travail au sein des naturalia se fasse en toute sécurité. La directive européenne 89-654, et pour la Suisse, l'Ordonnance du Conseil fédéral sur la prévention des accidents et des maladies (OPA), fixent une partie de la réglementation sur ces questions. L'employeur est ainsi tenu d'identifier, d'analyser et d'éliminer ou de réduire les risques. En dernier recours, il doit mettre à disposition des équipements de protection individuelle (EPI). Il doit informer des risques et former à la bonne utilisation des EPI et veiller à ce que les mesures de sécurité soient appliquées. L'employé doit suivre les directives de l'employeur, respecter les prescriptions de sécurité et utiliser les installations et dispositifs personnels de protection³⁸².

3.1.2. Protections collectives et individuelles

En milieu professionnel, les principales voies de pénétration à prendre en compte sont l'inhalation et le contact cutané. Les risques d'intoxication par ingestion peuvent être simplement éliminés par le respect strict de l'interdiction de manger, boire ou fumer dans les locaux de travail³⁸³. De même, il faut éviter certaines habitudes, comme se ronger les ongles, se lécher les doigts pour tourner des pages ou mettre des objets à la bouche (crayons par exemple). Enfin, il est important de bien se laver les mains après avoir retiré ses gants³⁸⁴.

³⁸² GEP, 2003, p.3 ; Suva, 2007, p.25.

³⁸³ Janowski, 1989, p.57 ; Picot *et al*, 1992, p.39.

³⁸⁴ Voir p.69 au sujet des gants.

Les protections collectives, qui sont plus efficaces, doivent toujours être privilégiées par rapport aux protections personnelles.

Les équipements de protection présentés ci-dessous sont identiques à ceux utilisés dans les laboratoires de chimie. Il est important que les EPI soient choisis de manière individuelle, afin qu'ils soient de bonne taille et le plus confortable possible. Le Code du travail européen (article R. 233-151) précise également qu'ils doivent permettre à l'utilisateur de « déployer normalement son activité »³⁸⁵.

PROTECTION DES VOIES RESPIRATOIRES

Il existe différents moyens pour se protéger de l'absorption de particules ou de gaz par les voies respiratoires : ventilation, aspiration/filtration en tant qu'équipements collectifs, et/ou port de masque comme EPI.

Les VENTILATIONS artificielles³⁸⁶ sont de deux sortes : générale ou locale. Elles permettent de renouveler l'air³⁸⁷ d'une pièce et de diluer les polluants, mais non pas de les éliminer. Selon Hawks et Makos (2001), la dilution des agents toxiques est généralement non recommandée, à moins que le risque d'exposition soit faible.

Les ASPIRATIONS/FILTRATIONS locales ou ponctuelles permettent de capter les polluants plus près de la source, qu'il s'agisse de sorbonnes, de hottes, de bras articulés, de tables aspirantes, de boîtes à gants ou de caissons mobiles. Les filtres et capteurs doivent être adaptés au type de polluant, en qualité comme en quantité. Lorsqu'on utilise une sorbonne, le panneau en polycarbonate doit être descendu pour que l'aspiration d'air soit efficace.

Les MASQUES sont de différents types selon la protection qu'ils offrent contre les particules, les gaz ou les deux à la fois³⁸⁸.

Les masques anti-particules sont des demi-masques (nez-bouche) jetables qui filtrent les particules et gouttelettes de l'air aspiré par l'utilisateur (fig. 2). Ils sont composés de textile (microfibres électrostatiques) et sont parfois munis d'une valve qui facilite l'expiration. Ils ne retiennent pas les gaz.

³⁸⁵ GEP, 2003, p.3.

³⁸⁶ Une ventilation naturelle se fera par les ouvrants de la pièce.

³⁸⁷ Le renouvellement d'air équivaut au débit de l'air (m^3/h) divisé par le volume du local. Il peut également être effectué par aération, sachant que l'air extérieur est souvent moins pollué que l'air intérieur. Les locaux peuvent aussi être mis en surpression ou en dépression. D'après AFSSET, ... *Document cadre...*, 2007, p.6 ; Picot *et al*, 1992, p.8.

³⁸⁸ INRS (*Les appareils...*, 2003) a aussi été consulté à ce sujet.



Figure 2 : masques anti-particules.

Les différents types de filtration sont classés selon leur efficacité et désignés par des codes alphanumériques. Nous présentons ci-dessous, la classification européenne (tableau 3)³⁸⁹ ; celle des Etats-Unis, par exemple, diffère au niveau des désignations.

Classe	Domaine d'utilisation
Classe 1 (P1 ou FFP1)	Aérosols solides et/ou liquides sans toxicité spécifique
Classe 2 (P2 ou FFP2)	Aérosols solides et/ou liquides dangereux ou irritants
Classe 3 (P3 ou FFP3)	Aérosols solides et/ou liquides toxiques

Tableau 3 : classification des masques anti-particules.

Le marquage normalisé de ces masques est indiqué par la couleur blanche.

Leur durée limite d'utilisation est déterminée par une gêne respiratoire.

Parmi les appareils respiratoires qui permettent de se protéger des gaz et des vapeurs, il existe des appareils filtrants et des appareils isolants. Les premiers purifient l'air par filtration, alors que les seconds sont alimentés en air pur à partir d'une source.

Seuls les appareils filtrants sont présentés ici (fig. 3) ; le travail courant dans les collections de musée ne nécessitant normalement pas une protection à l'aide du second type de masques. Il s'agit de demi-masques ou de masques complets. La pièce faciale, en contact avec le visage, assure l'étanchéité entre le

³⁸⁹ INRS, *Les appareils...*, 2003, p.3.

milieu contaminé et les voies respiratoires. Elle doit être convenablement ajustée – toute fuite rend la protection inefficace – et peut ne pas être appropriée pour certaines personnes (celles qui portent la barbe, par exemple). Un simple test peut être effectué en bouchant les entrées d'air avec les mains ; s'il est encore possible de respirer, le masque fuit.



Figure 3 : masque anti-gaz filtrant (à cartouches).

Les cartouches des appareils filtrants contiennent un adsorbant en grains, généralement du charbon actif. Elles retiennent un polluant particulier ou un groupe de contaminants et ne protègent pas des poussières. Elles fonctionnent jusqu'à saturation du charbon actif ; on parle de « claquage » de la cartouche. À ce stade, le filtre laisse passer la totalité du gaz polluant.

Un code de couleur et une lettre désigne le type de contaminant adsorbé. Les cartouches sont classées, selon la norme européenne, de 1 à 3 en fonction de leur capacité de piégeage (tableau 4)³⁹⁰ ; la classe 3 offrant la meilleure protection.

Type	Couleur	Domaine d'utilisation
A	Marron	Gaz et vapeurs organiques dont le point d'ébullition est supérieur à 65 °C
B	Gris	Gaz et vapeurs inorganiques sauf le monoxyde de carbone (ex. Cl ₂ , Br ₂ , H ₂ S, HCN...)
E	Jaune	Dioxyde de soufre (SO ₂) et autres gaz et vapeurs acides (ex. HCl...)
K	Vert	Ammoniac et dérivés organiques aminés
HgP3	Rouge + blanc	Vapeurs de mercure
NOP3	Bleu + blanc	Oxydes d'azote
AX	Marron	Produits organiques à point d'ébullition inférieur à 65 °C
SX	Violet	Composés organiques spécifiques désignés par le fabricant

Tableau 4 : types de filtres anti-gaz.

³⁹⁰ INRS, *Les appareils...*, 2003, p.3.

Ce type de masque doit être nettoyé après chaque utilisation. Si les cartouches peuvent resservir, elles doivent être stockées séparément dans un sac hermétique (elles continuent d'adsorber les contaminants de l'air ambiant et peuvent se saturer). Un filtre doit toujours être réutilisé pour se protéger du même gaz ; le cas échéant, un gaz « nouveau » peut provoquer le relargage du premier gaz piégé.

Leur temps de claquage est difficile à évaluer et dépend de différents facteurs (température, humidité, rythme respiratoire). Il n'existe pas de dispositif fiable pour déterminer l'état de saturation d'une cartouche. Aussi, elles doivent être remplacées périodiquement selon les indications données par le fabricant (date limite) ou changées plus rapidement en cas de perception olfactive du polluant concerné.

Les masques mixtes sont similaires aux masques anti-gaz et comprennent un filtre supplémentaire à particules sous forme de cartouche ou d'élément textile jetable (code couleur blanc).

PROTECTION DES MAINS ET DU CORPS

Les GANTS en vinyle et en nitrile sont efficaces contre la majeure partie des pesticides résiduels contre lesquels il est nécessaire de se protéger d'un contact cutané. Les premiers sont généralement composés de polychlorure de vinyle (PVC) et d'additifs (antioxydants, colorants, plastifiants, stabilisateurs, etc.), les seconds sont à base de copolymère d'acrylonitrile et de 1,3-butadiène, complétés d'additifs. Les gants en latex sont déconseillés en raison du risque de réactions allergiques à ce matériau. Enfin, les gants en coton ne sont pas recommandés car ils ne présentent pas une barrière hermétique, de surcroît lorsqu'ils sont humidifiés par la transpiration des mains.

On préférera des gants à usage unique et on veillera à les retirer en les retournant sur eux-mêmes sans toucher la surface extérieure à mains nues.

Il est nécessaire de porter une BLOUSE en coton afin de protéger ses vêtements et avant-bras, ainsi que d'éviter de disperser des poussières toxiques en dehors des espaces de travail. Aussi, elle doit être entièrement boutonnée lorsqu'on la porte, retirée à chaque pause et entreposée dans un endroit destiné à cet effet. Les protections jetables synthétiques sont à proscrire, à moins que leur résistance au feu soit clairement notifiée (Tyvek® ou Kleenguard® par exemple).

Enfin, il est important de porter des CHAUSSURES fermées et de n'avoir aucune partie du corps à nu, hormis le visage.

PROTECTION DES YEUX

Il est nécessaire de porter des LUNETTES de protection munies de coques latérales afin de se protéger des poussières et d'éviter tous risques de projections qui peuvent provenir de liquides ou d'éléments solides.

Pour empêcher un contact avec des substances à l'état gazeux, on travaillera sous sorbonne avec un écran en polycarbonate (ou autre type d'aspiration locale). L'utilisation de lunettes imperméables aux gaz est également possible. Le port de lentilles est à éviter car celles-ci peuvent accentuer l'irritation due à certains produits agressifs comme le formaldéhyde.

3.1.3. Conduites à tenir dans les collections

En matière de sécurité spécifique aux activités dans les collections d'histoire naturelle, certains principes de préventions peuvent être appliqués. Nous listons ci-dessous, une série de conduites à tenir et de notions dont il faut avoir connaissance.

En premier lieu, notons que face à la diversité de pesticides qui ont pu être utilisés dans les *naturalia*, tant qu'il n'a pas été confirmé qu'un spécimen est exempt de contaminants chimiques, tous doivent être considérés comme ayant été traités avec des composés toxiques³⁹¹.

STOCKAGE DES SPECIMENS

De plus, les spécimens non contaminés doivent être séparés de ceux qui le sont ou peuvent l'être et ne doivent en aucun cas être conservés dans la même réserve.

En effet, les biocides résiduels sous forme de poussières et de particules sont susceptibles de se disperser par mouvement d'air et de polluer l'ensemble des collections et des réserves³⁹². Penser aussi que des collections constituées de matériaux inorganiques ou des collections n'ayant pas subi de traitements biocides peuvent également être contaminées par des pesticides. Ce cas a par exemple été observé au Musée national danois où une collection d'archéologie, essentiellement constituée de matériel osseux et en céramique présentait des résidus de DDT³⁹³. De même, au Muséum national d'Histoire naturelle à Paris, des résidus d'arsenic ont été identifiés sur des spécimens récents qui n'avaient pas subi de traitement à base de cet élément³⁹⁴.

³⁹¹ Odegaard *et al*, 2006, p.87 ; Rossol et Jessup, 1996, p.147.

³⁹² Odegaard *et al*, 2003, p.39 ; Péquignot, 2008, p.7 ; Schieweck *et al*, 2005 et 2007 ; chapitre 4.2.3.

³⁹³ Glastrup, 1987, p.60.

³⁹⁴ Péquignot, 2008, p.7.

ÉTIQUETAGE DES SPECIMENS CONTAMINES

Les spécimens comprenant des biocides résiduels doivent être étiquetés comme tels – symbole de danger et nom du contaminant – et signalés dans les inventaires.

L'INRS, sur son site internet (www.inrs.fr), met à disposition les pictogrammes des différents symboles de dangers utilisés pour un étiquetage réglementaire. Par exemple, le symbole « toxique » indique la présence de « substances et préparations qui, par inhalation, ingestion ou pénétration cutanée en petites quantités, entraînent la mort ou nuisent à la santé de manière aiguë ou chronique »³⁹⁵. Le symbole « nocif » signale les « substances et préparations qui, par inhalation, ingestion ou pénétration cutanée, peuvent entraîner la mort ou nuire à la santé de manière aiguë ou chronique »³⁹⁶ (fig. 4).

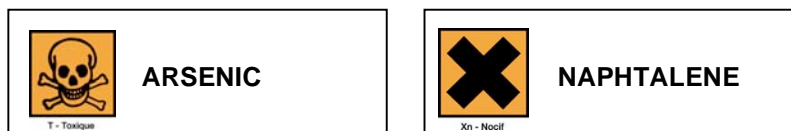


Figure 4 : exemples d'étiquettes pour des spécimens contaminés.

LOCAUX DE TRAVAIL

Tout travail autour des collections doit être effectué dans un espace prévu à cet effet avec des équipements de protection adaptés, (voir ci-dessus). Il est important que ces locaux soient bien ventilés et propres afin d'éviter toute accumulation de poussières et débris susceptibles de contenir des substances toxiques. Cette remarque est également valable pour les réserves et lieux de stockage des spécimens. Aucune opération ne doit être effectuée dans ces espaces (mis à part leur entretien !).

PROTECTION INDIVIDUELLE

Toutes les personnes sont concernées et doivent se protéger lorsqu'elles se trouvent dans un milieu contaminé, même celles qui ne manipulent pas directement les spécimens.

Il faut d'ailleurs veiller à manipuler le moins possible les spécimens et à se protéger les mains à l'aide de gants adaptés. De plus, comme cela a été indiqué en début de chapitre, une hygiène personnelle stricte doit être respectée. Les femmes enceintes et qui allaitent prendront des précautions particulières : elles ne doivent en aucun cas être exposées à des substances reprotoxiques. Enfin, en cas de problème de santé survenant après des activités à risque, celui-ci devra être mentionné à un médecin du travail et documenté.

³⁹⁵ INRS, *Classification...*, 2006, p.3.

³⁹⁶ *Ibid.*

Une protection et une prévention performante sont indissociables de la gestion du matériel et des équipements. Ceux-ci doivent être entretenus et contrôlés régulièrement afin d'assurer leur efficacité et bon fonctionnement.

Les blouses en coton doivent être propres. Elles seront lavées séparément des vêtements de tous les jours et si possible dans une machine prévue à cet effet. Si tel n'est pas le cas, il est recommandé de les aspirer avec un appareil muni d'un filtre HEPA (voir ci-dessous) et de les rincer préalablement.

Tout matériel contaminé devrait être traité en tant que « déchet dangereux ». Les gants, masques, filtres, etc. seront donc stockés dans des sacs en plastique fermés, puis éliminés avec les ordures ménagères ou donnés à traiter à une entreprise spécialisée, selon la quantité de composés toxiques et la réglementation locale en vigueur³⁹⁷.

TRAVAUX DANS LES COLLECTIONS

Différentes mesures de sécurité peuvent ou doivent être appliquées lors du travail en collection.

Les travaux de nettoyage, qu'il s'agisse du dépoussiérage de spécimens ou du ménage des locaux, des vitrines et du mobilier doivent être effectués à l'aide d'un aspirateur muni d'un filtre HEPA (Haute Efficacité pour les Particules de l'Air). Ce type de filtration retient 99,97% des particules mesurant 0,3 μm de diamètre et jusqu'à 95% des particules dont la taille est de 0,1 μm ³⁹⁸. Il permet ainsi d'éviter la dispersion de particules fines aux alentours de la zone de travail. Ces filtres devraient être remplacés après 50 heures d'usage. Ce type d'activité se fera muni de gants, blouse et masque anti-particules. L'utilisation d'équipement d'aspiration/filtration est également fortement conseillée.

Les spécimens susceptibles de relarguer des biocides sous forme de gaz seront sortis avant d'entreprendre le travail pour les laisser aérer. Il s'agit par exemple des collections d'herbiers et d'entomologie. Concernant les collections en fluide, des précautions particulières doivent être prises. On veillera à porter des lunettes de protection.

³⁹⁷ Gouverneur, 25.7.2008, *communication écrite* ; Zmoos, 23.7.2008, *communication orale*. En Suisse, l'Office Fédéral de l'Environnement (OFEV) met à disposition quantité d'informations concernant les déchets spéciaux (ds) et les déchets soumis à contrôle (sc).

³⁹⁸ Il existe également des filtres ULPA (*Ultra Low Penetration Air*) dont l'efficacité est supérieure : filtration de 99,99% des particules de 0,12 μm .

Précisons encore qu'une bonne organisation du travail permet d'éviter de « tout » contaminer. Par exemple lorsqu'on photographie un spécimen, on pourra porter un seul gant et manipuler l'appareil photo à main nue. Matériel, outils et mobilier doivent être nettoyés à la fin de chaque session de travail.

EXPOSITION ET ANIMATIONS

Finalement, afin d'éviter tout risque pour le public, il convient d'exposer les spécimens dans des vitrines fermées. De plus, les montages utilisés dans le cadre d'animations tactiles, notamment avec des enfants, doivent être fiables. La mise en œuvre de naturalisations avec des produits et matériaux non toxiques est une solution adéquate pour la préparation de matériel pédagogique. À ce sujet, on lira l'annexe 5, qui présente un exemple de taxidermie de ce type.

Synthèse

Pour conclure ce chapitre sur les mesures de sécurité, rappelons que les biocides résiduels ne sont pas les seuls éléments toxiques ou dangereux au sein des collections d'histoire naturelle contre lesquels il faut se protéger.

De plus, nous tenons ici à insister une fois encore sur l'importance de la première mesure de sécurité à appliquer qui consiste à informer et expliquer la problématique des dangers et des risques, ainsi que des moyens de protection.

Enfin, certaines des mesures préconisées ci-dessus doivent également être mises en œuvre dans le but de protéger les spécimens eux-mêmes pour favoriser leur bonne conservation à long terme. Ainsi, la manipulation minimale, le port de gants, le maintien des réserves propres, etc., sont de mise parmi les règles de conservation préventive dans un musée.

3.2. METHODES DE DECONTAMINATION DES *NATURALIA*

La toxicité des biocides résiduels dans les *naturalia* et les altérations des matériaux constitutifs qu'ils peuvent provoquer impliquent d'effectuer des traitements de décontamination lorsque ces deux sujets sont jugés trop préoccupants.

Lorsqu'une évaluation des risques sanitaires indique que ceux-ci doivent être gérés au niveau de la source d'émission du toxique, il convient tout d'abord de quantifier les pesticides à traiter, afin d'estimer le niveau de décontamination à atteindre. La connaissance de ce niveau sera utile pour contrôler le succès du traitement.

Le vocabulaire utilisé nécessite quelques précisions : « détoxiquer » a pour sens de « supprimer les effets nocifs, toxiques de (une substance) »³⁹⁹ et le mot « décontaminer » signifie littéralement « éliminer ou atténuer les effets d'une contamination »⁴⁰⁰. En d'autres termes, une décontamination peut être totale ou partielle.

Un spécimen, un objet ou un espace est considéré comme décontaminé lorsqu'il n'y a plus de risques pour la santé⁴⁰¹ ou d'altérations pour les matériaux constitutifs.

Très peu d'études sont publiées concernant le sujet de la décontamination des collections face à la présence de biocides, encore moins concernant les collections d'histoire naturelle. Certaines méthodes présentées ci-dessous s'inspirent d'autres domaines, comme la réduction des pesticides dans l'environnement (eau et sols) et les denrées alimentaires ou des procédures de nettoyage liées à la fabrication, au transport, au stockage ou à l'utilisation de ces produits⁴⁰².

Il apparaît également important de rappeler ici la nécessité de documenter tout traitement mis en œuvre et de justifier le but escompté, ainsi que les choix d'intervention. À noter que, comme toute action curative qui implique des compromis, une décontamination n'est pas sans risque de provoquer d'autres altérations. Ceux-ci seront évalués et pris en compte. À l'instar des traitements de nettoyage, ces méthodes de décontamination sont irréversibles.

³⁹⁹ *Le nouveau Petit Robert de la langue française*, 2006, v° détoxiquer. A ne pas confondre avec « désintoxiquer » qui s'applique aux personnes : la gestion des toxiques au sein de l'organisme consiste à désintoxiquer le corps (ou « guérir (qqn) d'une intoxication ». D'après *Le nouveau Petit Robert de la langue française*, 2006, v° désintoxiquer).

⁴⁰⁰ *Le nouveau Petit Robert de la langue française*, 2006, v° décontaminer.

⁴⁰¹ Odegaard, 2007.

⁴⁰² Odegaard, 2001, p.118.

De plus, certains biocides sont inhérents aux naturalisations : ils font partie des processus de fabrication et de préservation⁴⁰³. Ils constituent donc des informations technologiques et peuvent avoir d'autres fonctions que de lutter contre les nuisibles.

La suppression ou la réduction des effets toxiques des biocides peut être atteinte par différents moyens qui consistent à transformer et/ou éliminer les pesticides résiduels.

Nous mentionnons tout d'abord quelques possibilités d'action sur l'environnement des *naturalia* et leurs supports, puis exposons brièvement une série de traitements mécaniques, thermiques, par lyophilisation, à l'aide de laser, puis des méthodes chimiques et biologiques qui pourraient éventuellement être applicables aux spécimens.

3.2.1. Décontamination de l'environnement et des supports des spécimens

VENTILATION ET ASPIRATION/FILTRATION

La réduction des différents polluants à l'intérieur d'un bâtiment s'effectue par renouvellement d'air à l'aide de systèmes de ventilation ou d'aération. L'utilisation de matériaux absorbants ou qui détruisent les contaminants, tels que le charbon actif ou le permanganate de potassium (KMnO₄) permettent de « filtrer » les biocides. Ceux-ci peuvent également être utilisés dans des espaces fermés de plus petite taille (vitrine, mobilier de stockage...) ⁴⁰⁴.

Un nettoyage des locaux par aspiration – aspirateur muni d'un filtre adéquat – et lavage à l'eau et au détergent permettent de supprimer les contaminants sous forme de particules. Les pièces fortement polluées doivent être détoxiquées par une entreprise spécialisée. On peut par exemple faire appel aux spécialistes de la gestion de l'amiante ⁴⁰⁵.

DEMONTAGE-REMONTAGE ET TRANSFERT DE FLUIDES

Une méthode de décontamination touchant aux supports des spécimens consiste à les démonter puis les remonter sur des matériaux neutres et non pollués.

Cette technique est souvent appliquée aux collections d'herbier dont les papiers de montage peuvent être difficilement traités face à la présence de biocides inorganiques contenant du mercure par exemple. Il

⁴⁰³ On se référera à l'introduction de ce travail au sujet des termes « préservation vs conservation » et à la p.17 concernant la définition des fixatif et préservatif.

⁴⁰⁴ Grosjean et Parmar, 1991 ; Grzywacz, 1995, p.205. Pour ces questions, on consultera également J. Tétéault, 2003.

⁴⁰⁵ Makos et Dietrich, 1995, p.239 et 243 ; Ole, 2001, p.94.

s'agit, à l'heure actuelle, de la technique de réduction des pesticides la plus efficace⁴⁰⁶. Notons que ce choix de traitement est généralement fait, avant tout, pour résoudre les problèmes liés à l'acidité des papiers et à l'instabilité des matériaux de fixation.

Concernant les collections de fluides, un liquide préservatif extrêmement toxique comme le formaldéhyde pourra être remplacé par un produit moins toxique. La problématique du transfert des fluides étant un thème à part entière, on se référera à la littérature spécialisée⁴⁰⁷.

Certains auteurs proposent d'isoler les objets contaminés à l'aide de films plastiques, de feuille d'aluminium ou de vernis⁴⁰⁸. Plutôt que d'une réelle décontamination, il s'agit d'une solution temporaire et qui est susceptible d'entraîner d'autres problèmes dus à la création de microclimats.

3.2.2. Méthodes de traitements mécaniques

ASPIRATION/FILTRATION ET ABSORPTION

Avec la technique de décontamination par aspiration, nous abordons les méthodes de traitement qui relèvent directement de la conservation-restauration curative et qui touchent aux spécimens.

Ce type de dépoussiérage s'effectue à l'aide d'un aspirateur équipé d'un filtre HEPA ou ULPA afin d'éviter de redistribuer les poussières contaminées dans l'espace de travail. L'utilisation de soufflet (mécanique ou électrique⁴⁰⁹), pinceaux, brosses et autres petits outils peut aider⁴¹⁰. Il est également possible de favoriser l'absorption de composés faiblement volatiles en plaçant un tissu imprégné de charbon actif sur l'objet, lors du dépoussiérage⁴¹¹.

Odegard *et al.* (2003) présentent un exemple de décontamination de résidus arsenicaux mettant en œuvre un nettoyage avec aspirateur et brosse douce sur un diadème de plumes. Les analyses après traitement révèlent que ce pesticide n'a pu être que très partiellement supprimé.

⁴⁰⁶ Purewal *et al.*, 29.11.2007, *communication orale*.

⁴⁰⁷ On lira par exemple Burroughs (2006), Moore (1999), Simmons (1995) et Van Dam (2003).

⁴⁰⁸ Reuben, 2006, p.36 ; Unger *et al.*, 2001, p.265.

⁴⁰⁹ Certains aspirateurs ont deux embouts, l'un permettant d'aspirer et l'autre de souffler de l'air.

⁴¹⁰ Odegard, 2001, p.119 ; Tello, 2006, p.67-68.

⁴¹¹ Piening, 2001, p.253.

Une autre technique consiste à travailler sous hotte aspirante équipée de filtres adéquats.

Glastrup (2001) relate la mise en place de cette méthode pour un traitement de masse des collections du Musée national danois, contaminées au DDT. Les objets ont été examinés et nettoyés sous hotte aspirante en sous-pression constante et équipée d'air comprimé. À nouveau, le résultat indique une détoxification partielle, car c'est surtout la poussière qui a été éliminée⁴¹².

Une simple aération – idéalement sous hotte aspirante – de collections d'herbiers permet également de réduire la présence de naphthalène⁴¹³. D'autres *naturalia* protégés par des pesticides volatiles, comme les boîtes d'insectes, pourront aussi être partiellement décontaminés de cette manière.

PROCEDES A BASSE TEMPERATURE

Unger *et al.* (2001) décrivent d'autres méthodes de traitements mécaniques utilisées en Allemagne pour le nettoyage de surface cireuses, d'accumulation de poussières, de vernis et d'adhésifs sur des objets en bois. En principe, celles-ci pourraient également servir à éliminer des pesticides, notamment les résidus qui se présentent sous forme d'efflorescences. Il s'agit de traitements à basse température utilisant du dioxyde de carbone (CO₂) solide et de l'azote liquide. Ces techniques sont respectivement nommées « Cryo Brush » et « Cryo Pad ». Elles ne sont pas détaillées ici car elles semblent difficilement applicables à des spécimens d'histoire naturelle.

3.2.3. Procédures thermiques

La décontamination d'intérieur de monuments comprenant des éléments en bois traités au PCP et au lindane par des méthodes thermiques donne des résultats satisfaisants⁴¹⁴. Cette technique consiste notamment à faire circuler de l'air chaud (60 °C et humidité relative constante à 55 %) dans un système de circulation fermé durant plusieurs semaines, afin de faire migrer les contaminants vers la surface de l'objet⁴¹⁵. Ce type de traitement pourrait également être appliqué pour des objets contaminés au naphthalène et au PDB⁴¹⁶.

⁴¹² On lira également Vinglesgaard et Schmidt, 1986 à ce sujet.

⁴¹³ Purewal *et al.*, 29.11.2007, *communication orale*.

⁴¹⁴ Il serait intéressant de vérifier l'efficacité de cette méthode en présence de DDT dont la tension de vapeur est plus faible que celle de ces deux biocides.

⁴¹⁵ Tello, 2006, p.70 ; Unger *et al.*, 2001, p.262 ; Von Rotberg *et al.*, 1997. L'utilisation de micro-ondes a également été envisagée pour des objets en bois. Unger, Achim. Detoxifizierung Holzschutzmittel belasteter national wertvoller Kunstobjekte mit Farbfassungen und Oberflächenveredelungsschichten am Beispiel des Epitaphs von Döben und des Heiligen Grabes des Stiftes Neuzelle, Abschlussbericht zum Projekt, Az 17134. In *Deutsche Bundestiftung Umwelt*, 2001, p.54-57. Cités par Tello, 2006, p.78-79.

⁴¹⁶ Purewal, 2001, p.85.

Dawson (1988) suggère également qu'en présence de naphthalène recristallisé sur des matériaux fragiles, l'air alentour soit légèrement chauffé pour faire sublimer ce composé. On évite alors les altérations possibles dues à un traitement mécanique.

3.2.4. Traitements par lyophilisation

Bien que la lyophilisation soit connue et utilisée dans le domaine de la conservation-restauration, en 2001 il n'existait pas de référence concernant cette technique pour la décontamination de spécimens ou autres objets culturels⁴¹⁷. Des tests ont été effectués dans le but de décontaminer un œuf de poule contenant différents pesticides de la famille des organochlorés. En raison de la pression de vapeur des composés et de leur quantité, cette méthode s'est avérée peu satisfaisante⁴¹⁸.

Depuis, d'autres essais ont été effectués par V. Purewal *et al.* (29.11.2007, *communication orale*) pour réduire la présence de naphthalène sur des papiers de montage d'herbiers. Cette méthode semble peu efficace par comparaison avec des procédés thermiques et une simple aération.

3.2.5. Traitements au laser

En 2005, des investigations ont été menées concernant la décontamination d'objets en bois contenant du DDT, du lindane et du PCP à l'aide de lasers⁴¹⁹.

De même, les composés organiques étant sensibles aux rayons UV, des expériences ont été effectuées dans le but de détruire du malathion sur du verre et des surfaces peintes⁴²⁰.

Toutefois les effets à long terme, de même que les problèmes posés par la chaleur localisée ou l'action de la lumière sur les matériaux⁴²¹ par ces méthodes doivent encore être étudiés davantage pour être appliqués aux collections.

⁴¹⁷ Odegaard, 2001, p.120.

⁴¹⁸ Zabik, M. et Dugan, L.R. Potential of Freeze Drying for Removal of Chlorinated Hydrocarbon Insecticides from Eggs. In *Journal of Food Science*, n°36, vol.1, p.87-88. Cité par Odegaard, 2001, p.120.

⁴¹⁹ Jelen, Erich. Neues Verfahren zur Dekontamination von holzschutzmittelbelasteten Objekten. In *Restaurator im Handwerk*, 2004-2005, p.18-19. Cités par Tello, 2006, p.69 et 78.

⁴²⁰ Asmus, 2001.

⁴²¹ Odegaard, 2001, p.120.

3.2.6. Méthodes de traitements chimiques

SOLVANTS, AGENTS OXYDANTS ET COMPLEXANTS

Selon la solubilité des biocides résiduels présents dans les collections, des traitements à l'aide d'agents chimiques pourraient être mis en œuvre. L'utilisation de produits permettant de dégrader les pesticides par hydrolyse ou par formation de complexes est également envisageable⁴²².

Hawks et Bell (1999) présentent différents tests de nettoyages chimiques destinés à supprimer des taches gris noir sur des planches d'herbier (fig. 1), dans le but de retrouver la lisibilité des étiquettes de ces spécimens.

L'application d'un agent complexant⁴²³, l'acide 2,3-dimercaptopropanesulfonique (DMPS, $C_3H_8O_3S_3$), utilisé en médecine pour désintoxiquer les tissus du plomb et du mercure, a été mise en œuvre. Celui-ci présente un résultat intéressant pour les taches, mais il élimine également l'encre.

Les solutions d'iode dans l'alcool sont également connues pour être efficace pour éliminer les précipités foncés dans des solutions de chlorure mercurique. Toutefois, le pH de ces solutions étant très bas, leur utilisation n'est pas envisageable sur du papier.

Finalement, les tests se sont avérés concluant avec du Lugol (solution d'iodure de potassium iodé, KI_3), un agent oxydant en solution aqueuse appliqué à l'aide d'une pipette et séché avec un papier absorbant neutre. La zone traitée est ensuite rincée avec de l'eau distillée et séchée à nouveau.

Bien qu'efficace, cette méthode de traitement est assez longue et ne permet certainement pas d'éliminer la totalité des résidus toxiques.

Pour d'autres pistes de traitements chimiques à l'aide de solvants, on pourra se référer aux brèves mentions faites par Odegard (2007) et Reuben (2006).

Enfin, l'emploi d'eau par aspersion comme « substance drainante » puis directement aspirée, permet un nettoyage de surface et une décontamination similaires à la méthode mécanique d'aspiration à sec⁴²⁴.

⁴²² Odegard, 2001, p.119-120.

⁴²³ Un agent complexant ou chélateur permet de former des complexes solubles par liaison entre le complexant et les cations métalliques.

⁴²⁴ Tello, 2006, p.72 ; Unger *et al*, 2001, p.263.

DIOXYDE DE CARBONE

Depuis quelques années, différentes expériences ont été mises en œuvre dans le but de décontaminer des objets culturels à l'aide de DIOXYDE DE CARBONE SUPERCRITIQUE (SC-CO₂).

Le point critique se définit par la température et la pression auxquelles un liquide et sa phase vapeur ne sont plus distincts. L'état supercritique d'un composé se situe au-dessus de ce point et signifie que la substance se comporte à la fois comme un liquide et comme un gaz.

Le CO₂ à l'état supercritique présente donc l'avantage du CO₂ gazeux : faible viscosité et tension superficielle basse qui lui permettent de pénétrer rapidement et en profondeur dans les matériaux poreux ; ainsi que l'avantage du CO₂ liquide : bon solvant pour les composés organiques non polaires. Notons également que le point critique du CO₂ est relativement bas (31 °C et 73,8 bar) et permet ainsi de traiter des matériaux sensibles aux températures élevées. De plus, il s'agit d'un composé le plus souvent inerte, évitant ainsi les risques de réactions chimiques avec les matériaux traités⁴²⁵. Néanmoins, sa manipulation doit s'effectuer avec précaution en raison de son grand pouvoir réfrigérant (risques de gelures...)⁴²⁶.

Différents types d'échantillons, tels que bois, textiles, tapas, surfaces peintes, cuir, fourrure, poils, peau, plumes, céramique... ont été testés. Les pesticides étaient composés d'arsenic, de mercure et d'organochlorés (DDT, lindane, PCP)⁴²⁷.

Après traitement, les résultats indiquent d'une part que, selon les matériaux, 50% à 100% des biocides sont éliminés avec une plus grande efficacité pour le mercure et le DDT. D'autre part, il a été observé un effet de nettoyage des surfaces. Il a également été remarqué que les polysaccharides ne sont pas extraits, contrairement aux graisses, aux huiles et à l'eau. Les matériaux composés de protéines à faible taux de matières grasses, et dont la surface est lisse et la structure peu poreuse, ne sont pas endommagés. Il en va de même pour les matériaux inorganiques⁴²⁸.

L'application de cette méthode de décontamination à des objets culturels n'est pas encore réalisable. Bien qu'elle soit prometteuse, des expériences supplémentaires sont encore nécessaires⁴²⁹.

⁴²⁵ Tello *et al*, (a) 2005, p.111 ; Tello *et al*, (b) 2005, p.46. Pour des informations concernant l'équipement et les procédures de traitement, on consultera ces articles ainsi que le travail d'H. Tello (2006).

⁴²⁶ Picot, 23.6.2008, *communication orale*.

⁴²⁷ Tello *et al*, (b) 2005, p.46-47. Tello, 2006, p.84-88.

⁴²⁸ Tello *et al*, (a) 2005, p.114-117 ; Tello, 2006, p.121-125.

⁴²⁹ Tello *et al*, (b) 2005, p.48. Pour des détails concernant le futur de ces recherches, on lira les conclusions d'H. Tello (2006, p.136-140).

Le DIOXYDE DE CARBONE LIQUIDE peut également être utilisé comme agent nettoyant, dégraissant et décontaminant. Des tests similaires à ceux présentés ci-dessus ont été menés. À nouveau, il s'agit d'une méthode pour laquelle des recherches complémentaires doivent être effectuées. Ce solvant présente l'avantage d'une faible toxicité, tant pour les conservateur-restaurateurs, que pour l'environnement. Il est facilement recyclable⁴³⁰.

3.2.7. Méthodes de traitements biologiques

Certaines bactéries, résistantes aux effets toxiques des métaux, ont été utilisées avec succès pour décontaminer de l'eau et des sols. Le principe consiste à introduire des microorganismes, qui entraînent la volatilisation de ces pesticides⁴³¹, sur la zone à traiter puis de les retirer⁴³². Cette méthode de détoxification de surface a également été expérimentée et s'est avérée efficace sur du bois contenant du DDT et du lindane⁴³³. Toutefois, la mise en œuvre de tels traitements biologiques ne semble pas encore applicable à des objets culturels.

3.2.8. Synthèse

Les traitements de détoxification, actuellement disponibles, ne permettent, dans la plupart des cas, que des décontaminations partielles. Toutefois, le degré d'élimination des pesticides ne doit pas nécessairement être maximal pour limiter leurs effets toxiques et de dégradation.

Les traitements de surface impliquent que les mesures de sécurité préconisées soient toujours appliquées après intervention, en raison de la migration possible des biocides présents dans les spécimens.

La recherche concernant certaines de ces méthodes est à ses débuts et nécessite des expériences complémentaires pour qu'elles soient applicables à des objets culturels.

⁴³⁰ Tello et Unger, 2006.

⁴³¹ En présence de certaines bactéries anaérobies réductrices, l'arsenic est par exemple converti en arsine (AsH_3), un gaz hautement toxique. D'après Makos et Dietrich, 1995, p.237.

⁴³² Odegaard, 2001, p.120.

⁴³³ Unger *et al*, 2001, p.264.

Des améliorations et des adaptations des procédures opératoires restent encore à réaliser afin de maîtriser les différents paramètres comme le temps, la température, la pression, la présence de différents composés (mélanges de biocides et matériaux constitutifs des spécimens) et leur état de conservation/dégradation.

Quant à la décontamination des *naturalia* proprement dite, il semble illusoire de vouloir détoxiquer des collections entières au vu du nombre de spécimens collectés, qui se comptent en millions. La problématique de traitements de masse est donc écartée et seules des interventions au cas par cas sont envisageables.

Rappelons également que certains biocides, utilisés comme fixatif et/ou préservatif, ont d'autres fonctions que celle de lutter contre les nuisibles. Cette notion doit être prise en compte en termes d'éthique de traitement afin de ne pas supprimer des informations technologiques sans les avoir préalablement documentées.

Enfin, la fonction de protection de ces pesticides, par leur présence résiduelle et leur rémanence peut être encore efficace à l'heure actuelle. À réfléchir s'il est réellement nécessaire de les éliminer... L'arsenic en est un exemple, sachant qu'il est possible de se protéger facilement de ses effets toxiques. Les mesures de sécurité et les équipements de protections présentées préalablement seront d'ailleurs appliqués et utilisés par les personnes qui effectuent des traitements de décontamination.

3.3. NOTE SUR L'UTILISATION ACTUELLE DE BIOCIDES

Au vu des risques pour la santé, des problèmes d'altérations des matériaux et de l'influence que peuvent avoir les biocides dans le cadre de recherches scientifiques, il convient aujourd'hui d'éviter leur utilisation dans les collections.

Toutefois, la mise en œuvre de traitements de ce type s'avère nécessaire pour lutter contre certaines infestations.

Dans ce cas, on veillera à documenter suffisamment ces traitements en tenant compte des points suivants⁴³⁴ :

- raisons de l'intervention (type de nuisibles, de réserves...),
- spécimens/collections traitées (état avant intervention),
- description du traitement :
 - nom et composition (concentrations) du produit ;
 - marque du produit et nom du fabricant ;
 - méthode d'utilisation et procédures ;
 - conditions environnementales (température, humidité relative...).
- nom des personnes qui ont effectué le traitement,
- date du traitement,
- observations post-traitement :
 - changements visuels, altérations des matériaux ;
 - problèmes de santé liés à l'utilisation du biocide.

Tous les matériaux et produits utilisés lors de travaux de taxidermie et de conservation-restauration doivent également être documentés pour les raisons précédemment citées.

⁴³⁴ Dawson, 1988, p.135-136.

4. ETUDE DE CAS : LE MUSEUM DE DIJON

Le Muséum - Jardin des Sciences de Dijon (MJSD) en France, lieu d'accueil pour la réalisation de ce diplôme, a fait l'objet d'une étude de cas concernant la mise en évidence et l'identification de biocides utilisés par le passé.

Après une brève présentation du MJSD et des collections retenues dans le cadre de ce travail, nous exposons les résultats de recherches en archives, d'enquêtes et d'observations. Dans un second temps, la présence de certains biocides résiduels a été vérifiée par la mise en œuvre d'analyses instrumentales.

Les bases préalables à une évaluation de risques sanitaires sont exposées et une étude préliminaire de la qualité de l'air concernant différents composés organiques volatiles (COV), dont les aldéhydes, a été effectuée.

4.1. PRESENTATION DU MUSEE ET DE SES COLLECTIONS

Le Muséum – Jardin des Sciences de Dijon rassemble aujourd'hui un muséum, un jardin botanique (réunis administrativement en 2001) et un planétarium (ouvert en 2005). Il est situé dans le parc de l'Arquebuse, au sud de la gare (fig. 5). Le jardin botanique et son conservatoire ont été transférés en ce lieu en 1833. Deux ans plus tard, le musée d'histoire naturelle est créé ; ses portes ouvrent au public en 1836⁴³⁵.

⁴³⁵ Chabeuf et Philibert, 1980, p.1-2.

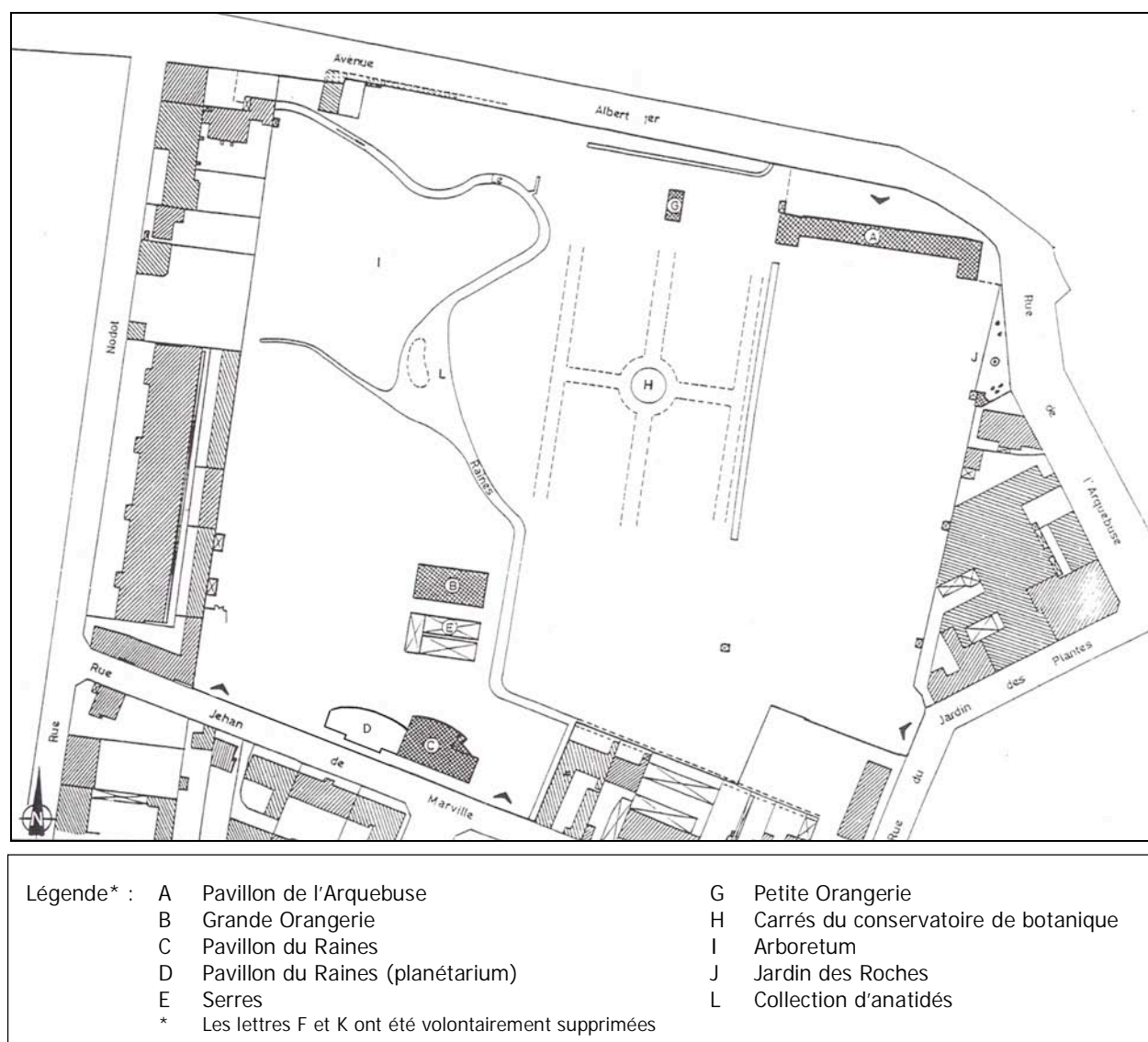


Figure 5 : plan du parc de l'Arquebuse.

4.1.1. Histoire et lieux

Les premières collections proviennent de saisies révolutionnaires, principalement celles de Monsieur de Chamblanc, d'autres part de celles de Léonard Nodot, fondateur du muséum et se composent principalement de minéraux et d'insectes⁴³⁶. Par la suite, les différents conservateurs ont enrichi les fonds en faisant place à la zoologie (principalement mammifères, oiseaux, coquillages et insectes), la minéralogie, la géologie, la paléontologie et l'ethnologie ; les collections de botanique étant rassemblées par les directeurs du conservatoire de botanique.

⁴³⁶ Chabeuf et Philibert, 1980, p.2.

Ces dernières étaient conservées dans la partie ouest au rez-de-chaussée du bâtiment de l'ancienne compagnie des arquebusiers (fig. 6) dont les débuts de la construction remonte à 1608⁴³⁷. Le premier étage abritait les collections du Musée d'Histoire naturelle et d'Ethnographie⁴³⁸. Au fil du temps, elles ont été complétées par de nombreux dons, legs et achats⁴³⁹. En 1915 déjà, le conservateur Émile Topsent se plaignait du manque de place disponible⁴⁴⁰. En 1974 le musée s'agrandit de la partie est du rez-de-chaussée. Toutefois, ce n'est qu'en 1994 que le musée se voit doter d'un nouveau bâtiment, le Pavillon du Raines (fig. 7), destiné entre autres à la conservation des collections, dont seules 2% sont exposées⁴⁴¹. Ce pavillon est situé au sud du Jardin de l'Arquebuse et a récemment été agrandi (2005) par la construction d'un planétarium, de locaux administratifs et d'une réserve pour les collections de botanique. Le muséum et le conservatoire de botanique ont été rassemblés en 2001 pour former le « Muséum – Jardin des Sciences »⁴⁴².



Figure 6 : façade sud du Pavillon de l'Arquebuse.



Figure 7 : façade nord du Pavillon du Raines.

Une partie des collections, dont les spécimens en fluides, se trouve encore dans les combles du bâtiment de l'Arquebuse, les grands mammifères sont conservés dans des réserves extérieures dans les anciens abattoirs de la ville.

Le MJSD abrite également des collections vivantes d'oiseaux et de plantes qui sont regroupées dans le parc de l'Arquebuse. Il s'agit d'un ensemble d'anatidés et de végétaux présentés dans les quatre carrés de l'Ecole de botanique, dans l'arboretum et la roseraie. Une collection de graines est également complétée

⁴³⁷ L'ensemble est achevé en 1710. Les cintres du préau ont été murés en 1833.

⁴³⁸ Nommé « muséum » dans ce texte.

⁴³⁹ Chabeuf et Philibert, 1980, p.1-2 ; Ferrière et Morizot, 1994, p.65-66.

⁴⁴⁰ Chabeuf et Philibert, 1980, p.9.

⁴⁴¹ Ferrière et Morizot, 1994, p.80.

⁴⁴² Cette appellation date de 2005, après la construction du planétarium.

régulièrement⁴⁴³. Restent encore trois serres désaffectées et la Petite Orangerie qui datent des années 1830. Cette dernière, comme la Grande Orangerie, construite à la fin de la première moitié du XX^e siècle, sert de lieux d'exposition temporaire.

4.1.2. Les collections

L'ensemble des *naturalia* du Muséum – Jardin des Sciences se chiffre à plusieurs millions de spécimens. Parmi les différents domaines représentés (zoologie, botanique, minéralogie, géologie, paléontologie), l'entomologie est la plus importante numériquement⁴⁴⁴.

Les collections présentent un intérêt historique, une valeur scientifique de grande importance – de nombreux types et paratypes sont conservés – ainsi qu'un rôle pédagogique.

Nous nous intéressons, dans cette étude, aux collections essentiellement composées de matériaux organiques, en raison d'une plus forte probabilité de contamination par des biocides. Les collections d'insectes, de mammifères et d'oiseaux, les herbiers et les spécimens conservés en fluides sont brièvement décrits ci-dessous⁴⁴⁵.

Les INSECTES collectés proviennent de Bourgogne, du reste de la France et d'autres régions du monde. La plupart ont été classés par les collectionneurs eux-mêmes. Certains ont été intégrés dans la collection générale, entamée dans les années 1930 et encore enrichie aujourd'hui par la Société Entomologique de Dijon⁴⁴⁶.

Dans la majorité des cas, les spécimens sont piqués sur des épingles dans des boîtes en bois ou carton à couvercle vitré (fig. 8). Ceux de très petite taille sont collés sur des languettes cartonnées, celles-ci piquées dans les boîtes. Certains spécimens sont conservés en alcool. Enfin, le MJSD possède également des nids d'hyménoptères stockés dans des boîtes de type plexiglas® (polyméthacrylate de méthyle ou PMMA).

⁴⁴³ Ces graines sont cataloguées dans l'*Index Seminum* annuel du MJSD et conservées à sec, à température ambiante ou en réfrigérateur, au rez-de-chaussée du Pavillon de l'Arquebuse.

⁴⁴⁴ Remoissenet, 18.7.2008, *communication écrite*.

⁴⁴⁵ La documentation des collections est extrêmement restreinte et les inventaires parfois inexistant. Les informations manuscrites des deux siècles précédents sont difficiles à mettre en lien avec les spécimens conservés aujourd'hui au vu des pertes subies au cours du temps. Un incendie en 1919 et l'explosion de la gare en 1944 ont notamment provoqués des dégâts importants. D'après Chabeuf et Philibert, 1980, p.9 et 11 ; Morizot, 1989, p.81.

⁴⁴⁶ Morizot, 1995 ; Prost et Faerdig, 1988.



Figure 8 : boîtes d'insectes et nids d'hyménoptères.

Les collections d'HERBIERS sont composées d'environ 250'000 planches qui comprennent des spécimens⁴⁴⁷ de flore régionale, française et internationale, réparties pour les deux tiers de plantes phanérogames, pour le reste de cryptogames. De même que pour l'entomologie, ces herbiers sont regroupés et nommés d'après leurs auteurs. Ils ont, dans certains cas, été complétés par le rassemblement de collections préexistantes. L'Herbier Poincot, par exemple, comprend 15'000 planches rassemblant des spécimens de la flore bourguignonne. Il a été constitué par les soins d'Henri Poincot, directeur du conservatoire de botanique de 1955 à 1974, grâce à ses propres collectes et par la fusion de différents ensembles couvrant environ 150 ans d'herborisation. L'Herbier de France (47'000 planches) et l'Herbier Général (40'000 planches) sont également le fruit du travail de plusieurs botanistes⁴⁴⁸.

La majorité de ces herbiers sont conservés sous forme de liasses maintenues par des carton-livres sanglés (fig. 9).



Figure 9 : liasses de planches d'herbiers maintenues dans des carton-livres sanglés.

⁴⁴⁷ Estimés au nombre de 400'000.

⁴⁴⁸ Poncet, 2002, *non publié* ; Remoissenet, 17.10.2007, *communication orale*.

Les collections de MAMMIFERES et d'OISEAUX représentent plusieurs milliers de spécimens sous forme de montages essentiellement, de mises en peau et de peaux plates. Il s'agit de faune régionale, française et internationale. Une partie des montages est exposée de manière permanente dans le Pavillon de l'Arquebuse dans des vitrines fermées (fig. 10 et 11).



Figures 10 et 11 : mammifères et oiseaux dans les réserves du Pavillon du Raines.

Enfin, environ un millier de spécimens sont conservés en FLUIDE dans des flûtes ou bocaux en verre. Il s'agit essentiellement de reptiles, poissons, vers et mollusques. Le lut des bocaux se faisait à l'aide de suif ou de saindoux, de caoutchouc et de talc⁴⁴⁹. Aujourd'hui on utilise du silicone. Une grande partie de cette collection est également présentée dans le « cabinet de curiosité », dans le Pavillon de l'Arquebuse (fig. 12).



Figure 12 : spécimens en fluide exposés dans le « cabinet de curiosités ».

⁴⁴⁹ Archi.mun.Dijon, 1861 et 1864, 1946, *non publié* ; Perrot, 1983, p.7, *non publié*.

4.2. MISE EN EVIDENCE ET IDENTIFICATION DE BIOCIDES RESIDUELS

4.2.1. Recherches en archives et enquêtes

L'histoire de l'utilisation des biocides au MJSD ne peut être que partiellement retracée par le biais de recherches en archives et d'enquêtes auprès des personnes ayant travaillé ou travaillant dans cette institution.

DESCRIPTION DES SOURCES

Pour le muséum, les documents à disposition concernent principalement l'acquisition des spécimens et des informations scientifiques à leur sujet, sous forme de correspondances et de cahiers de récolte⁴⁵⁰. Les listes de dépenses, les quittances d'achat et les demandes de financement des différents conservateurs et/ou préparateurs permettent toutefois de se faire une idée des produits achetés au cours des ans, sans pour autant livrer de recettes et de détails quant à la finalité de leur utilisation (annexe 6). Ceux-ci apportent quelques indications sur les moyens de lutte mis en place contre les nuisibles, ainsi que sur les méthodes de préparations des spécimens. Ces listes de dépenses annuelles sont plus ou moins lacunaires. Elles font notamment défaut durant les deux dernières décennies du XIX^e siècle. Après 1920, à quelques exceptions près, les demandes de financement à la mairie sont moins détaillées et ne mentionnent pas de produits destinés à la préparation ou à l'entretien des collections. Les agendas⁴⁵¹, ainsi qu'un rapport de M. Perrot (1983, *non publié*), naturaliste-préparateur au muséum de 1960 à 1982 apportent également des informations. Différentes personnes travaillant au MJSD ont été d'une précieuse aide, qu'il s'agisse du taxidermiste, des chargées de collection et des spécialistes en entomologie et botanique. Enfin, les services de désinfection de la ville de Dijon nous ont renseigné sur les méthodes pratiquées récemment.

RESULTATS DES RECHERCHES

Dans les archives du muséum, il apparaît que de l'arsenic, du savon arsenical ou savon de Bécoeur ont été acheté dès l'origine, soit en 1835, date de la création du poste de conservateur, alors assumé par Léonard Nodot, naturaliste et préparateur⁴⁵². L'arsenic et le savon arsenical sont mentionnés plusieurs fois tout au long du XIX^e siècle⁴⁵³ ; il était également fabriqué sur place par le naturaliste M. Montgrenier durant la première moitié du XX^e siècle⁴⁵⁴. Son successeur, M. Perrot l'achète déjà préparé pour la naturalisation

⁴⁵⁰ Ces documents n'ont pas été passés en revue car la probabilité d'informations sur les techniques de préparation et de conservation apparaît faible.

⁴⁵¹ Seul celui de 1976 a pu être consulté.

⁴⁵² Chabeuf et Philibert, 1980, p.2.

⁴⁵³ Archi.MJSD, 1858, *non publié* ; Archi.mun.Dijon, 1837, 1839 et 1871, *non publié*.

⁴⁵⁴ Perrot, 1983, p.7, *non publié*.

des pièces ornithologiques⁴⁵⁵. Il a été utilisé jusque dans les années 1990 par les taxidermistes pour les collections d'oiseaux. Dès la moitié du XX^e siècle, les peaux des mammifères sont préparées à l'alun de potassium et dès 1980 environ, elles sont traitées à l'Eulan® par immersion⁴⁵⁶.

L'achat de « sublimé corrosif » ou chlorure mercurique se rencontre à quelques reprises dans les archives⁴⁵⁷, ainsi que celui de liqueur de Smith⁴⁵⁸ et de baume Opodeldoch⁴⁵⁹. Les archives du musée font également mention de camphre⁴⁶⁰, de soufre⁴⁶¹ et d'essence de serpolet⁴⁶². À partir du XX^e siècle, la naphthaline en poudre ou sous forme de boules est régulièrement achetée jusqu'en 1912⁴⁶³. Par la suite, les archives font défaut et les enquêtes laissent apparaître que ce biocide est parfois confondu avec le paradichlorobenzène. Celui-ci a été utilisé dès les années 1960, également sous forme de boules renouvelées deux fois par an dans les réserves et les vitrines d'exposition et ce jusqu'à la fin des années 1980⁴⁶⁴.

L'essence de mirbane et la créosote de hêtre ont été utilisées dans certaines collections d'entomologie avant qu'elles appartiennent au muséum. Certains collectionneurs ont livrés l'un ou l'autre de ces biocides avec leurs boîtes d'insectes⁴⁶⁵. La collection Roguenant (lépidoptère de Côte-d'Or, coléoptères français et phryganes), qui est constituée de 200 boîtes et a été donnée au muséum en 1993, était cependant protégée des nuisibles à l'aide de pastilles de paraformaldéhyde⁴⁶⁶.

L'alcool ou esprit-de-vin revient très souvent⁴⁶⁷ dans les comptes et sont achetés par quantité de deux à une centaine de litres. Il est parfois précisé que l'alcool sert à « conserver les corps mous tels que mollusques, reptiles, poissons et vers⁴⁶⁸ ». En 1983, M. Perrot mentionne l'utilisation de formol dans

⁴⁵⁵ Chautemps, 8.11.2007 et Prost, 18.10.2007, *communications orales*. Il s'agit d'un savon qui présente une concentration en arsenic moins élevée que ce qui a pu être utilisé auparavant.

⁴⁵⁶ Chautemps, 8.11.2007, *communication orale*.

⁴⁵⁷ Archi.MJSD, 1838, *non publié* ; Archi.mun.Dijon, 1837 et 1858, *non publié*.

⁴⁵⁸ Archi.mun.Dijon, 1835 et 1837, *non publié*.

⁴⁵⁹ Archi.mun.Dijon, 1835 et 1839, *non publié*.

⁴⁶⁰ Archi.mun.Dijon, 1837 et 1840, *non publié*. À noter également que ce composé entre dans la fabrication du savon arsenical.

⁴⁶¹ Archi.mun.Dijon, 1840, *non publié*.

⁴⁶² Archi.mun.Dijon, 1877, *non publié*.

⁴⁶³ Archi.MJSD, 1902 à 1912, *non publié*.

⁴⁶⁴ Chautemps, 8.11.2007 et Prost, 18.10.2007, *communications orales* ; Perrot, 1976, *non publié*.

⁴⁶⁵ Prost, 18.10.2007, *communication orale*.

⁴⁶⁶ Morizot, 1995, p.54 ; Prost, 14.05.2008, *communication orale*.

⁴⁶⁷ Dates non relevées systématiquement.

⁴⁶⁸ Archi.mun.Dijon, 1837, *non publié*. En 1861, l'alcool est distillé sur place afin de faire des économies. Après 1945, il semble difficile de s'en procurer, comme le démontre la correspondance à ce sujet.

certaines bocaleries⁴⁶⁹. M. Prost rapporte qu'une partie⁴⁷⁰ des spécimens en fluide présentés dans le « cabinet de curiosités » de la galerie de l'Arquebuse a été rincé à l'eau distillée, puis reconditionné avec de l'alcool à 70% et 2% de glycérine (contre le gel), au moment de sa rénovation, entre 1990 et 1992⁴⁷¹.

Des traitements isolés sont également mis en œuvre lors d'attaques d'insectes ou de moisissures. En 1976, deux bombes aérosols Néocide® (à base de DDT⁴⁷²) sont achetées⁴⁷³.

D'après ce même agenda, des boîtes d'insectes de la salle du 2^e étage de l'Arquebuse sont « désinfectées au lindane »⁴⁷⁴. Ce biocide est appliqué au pinceau dans le fond des boîtes lors de la création des vitrines en 1979-1980⁴⁷⁵. Dans les années 1990, M. Prost utilise de manière occasionnelle de l'huile de thym sous forme de bombe aérosol pour les insectes infestés de moisissures⁴⁷⁶.

À ces dates, le muséum fait également appel à la Station de désinfection de la ville de Dijon pour effectuer des traitements de fumigation préventifs dans ses réserves. Des cartouches de fumigant de marque Subliform/Aldor® à base de paraformaldéhyde sont utilisées⁴⁷⁷. Dès 2001, ces traitements sont effectués deux fois par an avec des biocides contenant des pyréthrinoides (du Choc.sid Insect®, un aérosol à base de perméthrine et de d-phénotrène et du Dobol®, un fumigène contenant de la cyphénothrine) dans les différentes réserves (mammifères-oiseaux, entomologie et herbiers). En 2005, à une occasion, un fumigant de la famille des organophosphorés (Pheminsect F.I® contenant du chlorpyrifos) a été utilisé dans les réserves extérieures dans les anciens abattoirs⁴⁷⁸. En cas d'infestation localisée, lorsqu'un traitement par le froid n'est pas réalisable, des pesticides de la classe des pyréthrinoides sont appliqués sur les spécimens à l'aide de bombes aérosols. Les retours de prêt de boîtes d'insectes sont systématiquement traités par le froid ou traitées à la station de désinfection de la ville qui utilise du Choc.sid Insect® dans une étuve hermétique. Les autres spécimens sont contrôlés (quarantaine) avant de réintégrer les réserves et traités comme les boîtes d'insectes en cas d'infestation. Enfin, les espaces d'exposition permanente sont traités à l'aide de Dobol®, une fois par an, à l'automne⁴⁷⁹.

⁴⁶⁹ Perrot, 1983, p.7, *non publié*.

⁴⁷⁰ Ils se distinguent aujourd'hui des autres bocaleries par leur scellage au silicone.

⁴⁷¹ Ferrière et Morizot, 1994, p.73.

⁴⁷² Morel, 1963, p.94.

⁴⁷³ Perrot, 9.4.1976, *non publié*.

⁴⁷⁴ Perrot, 14.11.1976, *non publié*.

⁴⁷⁵ Prost, 18.10.2007, *communication orale*.

⁴⁷⁶ *Ibid.*

⁴⁷⁷ Masson, 22.12.2007, *communication orale*.

⁴⁷⁸ Remoissenet, 19.11.2007, *communication orale*.

⁴⁷⁹ Lenoir, 3.7.2008 ; Prost, 18.10.2007 et Remoissenet, 19.11.2007, *communications orales*.

D'autres produits ou matériaux liés au travail de préparation des spécimens et de taxidermie reviennent régulièrement⁴⁸⁰ dans les listes de dépenses consultées. Il s'agit de sel, de poudre à poudrer, de gomme en poudre, de chlorure de chaux ($\text{CaCl}_2 \cdot \text{Ca}(\text{ClO})_2$), de pâte au sable et d'alun qui interviennent pour partie dans les opérations de tannage. Du cyanure de potassium a pu remplacer l'arsenic ou servir lors de récoltes d'insectes. Des matériaux de bourrage/remplissage et montage sont mentionnés, comme du fil de fer, du foin, de l'étope, du crin végétal, du coton cordé, du mastic, du plâtre, des épingles et des yeux en email. Différents solvants, acides et bases, colles, vernis et couleurs sont aussi acquis, de même que des socles et du matériel d'exposition et de stockage.

Concernant les collections en fluide, il est fait mention d'achat et d'utilisation de bocaux de verre, de caoutchouc, de bouchons en gomme, de suif, de saindoux et de talc⁴⁸¹.

Les archives du conservatoire de botanique comportent la description de l'ensemble de la collection par Paul André Genty⁴⁸² (directeur de 1898-1955). Il indique pour certains herbiers les traitements biocides effectués ou supposés avoir été mis en oeuvre. Après 1955, nous ne disposons pas d'informations au sujet des produits utilisés⁴⁸³. À partir de 2001, date de rassemblement du muséum et du conservatoire de botanique, les collections de botanique sont traitées par fumigation avec du paraformaldéhyde puis des pyréthrinoides⁴⁸⁴.

Les herbiers sont dits « sublimés, naphtalinés, sulfurés ou non empoisonnés ».

Les spécimens sublimés, c'est-à-dire traités au chlorure mercurique, sont les suivants : l'Herbier Desplantes donné en 1968, l'Herbier de Chamberet donné en 1928 et l'Herbier général précieux de Genty. L'Herbier Antoine Guillemin (1796-1842) a vraisemblablement été sublimé d'après P. A. Genty. Il a été incorporé à l'Herbier Général du conservatoire entre 1935 et 1937. Enfin, le bon état de conservation de l'herbier du Dr Jacques Duret (1794-1874) laisse supposer qu'il a également été protégé grâce à ce biocide. Il a été intégré à l'Herbier Général et à l'Herbier de France⁴⁸⁵.

⁴⁸⁰ Dates non relevées.

⁴⁸¹ Archi.mun.Dijon, 1861 et 1864, 1946, *non publié* ; Perrot, 1983, p.7, *non publié*.

⁴⁸² Genty, non daté [1942-1955 ?], *non publié*. Sauf mention particulière, toutes les informations présentées ci-dessous sont tirées de ce document.

⁴⁸³ Mignotte, 7.12.2007, *communication orale*.

⁴⁸⁴ Masson, 22.12.2007 et Remoissenet, 19.11.2007, *communications orales*.

⁴⁸⁵ À noter qu'un tiers de ses récoltes a été déposé au MJSD en 2008. Nous ne possédons pas d'information concernant d'éventuels traitements biocides par le passé. Toutefois ces planches sont également en bon état de conservation. De plus, elles ont subi un traitement au Choc.sid Insect® avant leur dépôt en réserves. D'après Remoissenet, 18.7.2008, *communication écrite*.

De la poudre de naphthaline a été dispersée en abondance dans les casiers et/ou sur les planches de l'Herbier Genty (qui a également été sulfuré). L'Herbier Ch. Royer donné en 1924 a été traité à la naphthaline après changement du papier à sa réception. Finalement, l'Herbier de la Société Bourguignone d'Histoire Naturelle a été naphthaliné en 1915, lors de son entrée en collection.

Genty (1942 ?, *non publié*) mentionne que son herbier a « récemment été sulfuré ». L'Herbier H. J. Thiébaut (1871-1961) a également été traité ainsi à son arrivée en 1936. Il est précisé pour ce dernier qu'il a été « soumis à une sulfuration intense et prolongée en cuve hydraulique ».

L'Herbier Bottemer légué en 1958 et classé dans les Herbiers de la Côte d'Or et de France, l'Herbier Germain le Grand donné en 1931 et l'Herbier Gillot sont dits « non empoisonnés ». Ceci serait également le cas de l'Herbier Stivalet de Loisy donné en 1927, bien que cette information soit à vérifier d'après P. A. Genty. Enfin, il est précisé pour l'Herbier Lochot, qu'il n'a certainement pas été sublimé.

Les différentes informations recueillies dans les archives et au cours d'enquêtes sont sommairement résumées dans le tableau ci-dessous.

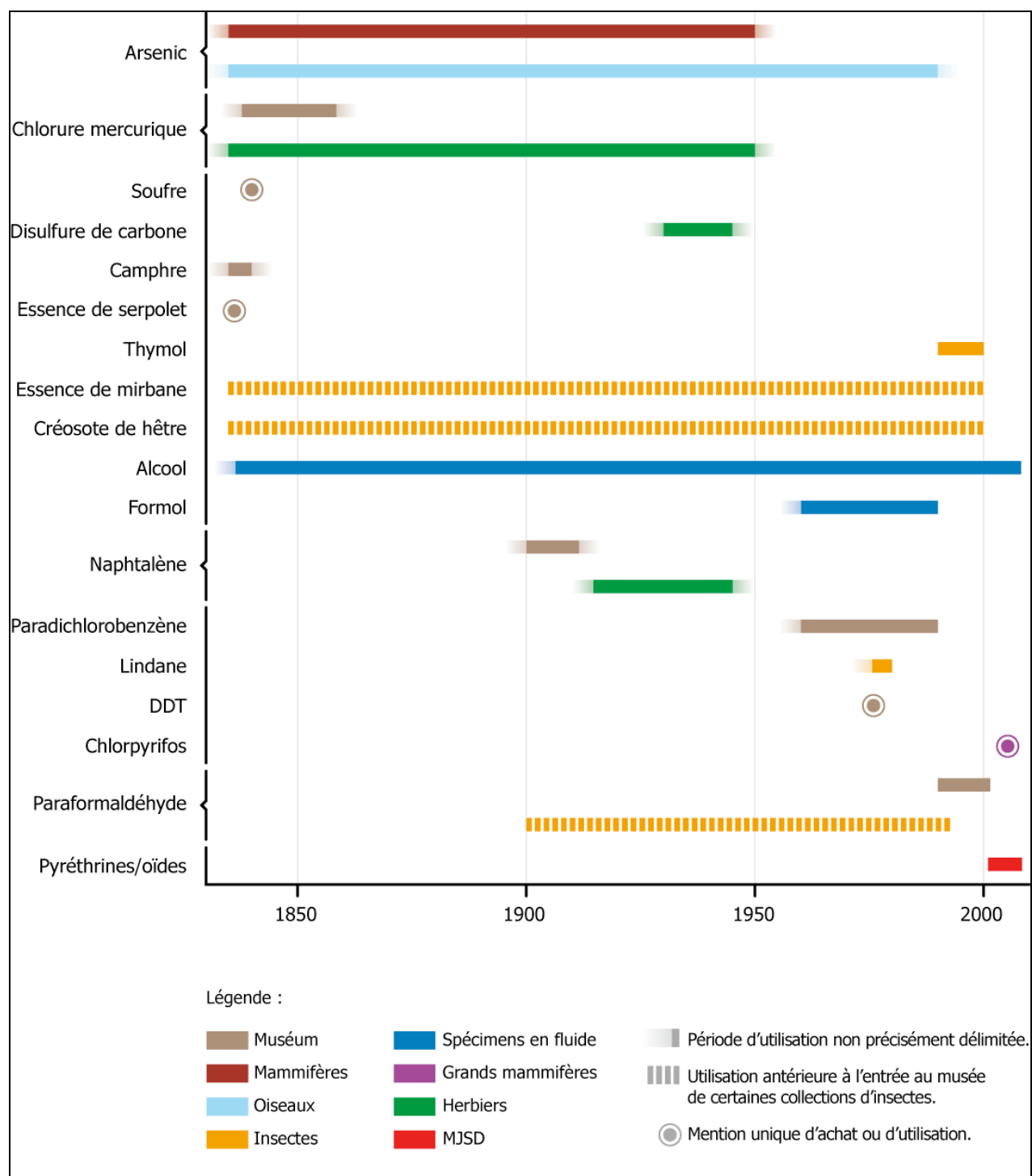


Tableau 5 : liste des biocides susceptibles d'avoir été utilisés dans les collections du MJSD au cours du temps.

4.2.2. Observations visuelles de traces physiques

Lors d'observations visuelles, très peu d'éléments permettent de déceler la présence de biocides ou de supposer leur utilisation par le passé dans les collections du MJSD.

Presque aucune trace d'anciens stocks de biocides, de déchets de contenant ou de matériel pour la mise en œuvre de ces traitements n'a été trouvée. Mais les collections et locaux de travail ont été déménagés petit à petit dans le nouveau Pavillon du Raines depuis 1994. De plus, la taxidermie n'est plus pratiquée depuis 2004.

En entomologie, quelques fioles de Sauvinet en verre sont conservées séparément (fig. 13). Elles étaient piquées à l'intérieur des boîtes d'insectes et ont vraisemblablement contenu de l'essence de mirbane ou de la créosote de hêtre⁴⁸⁶. L'une d'entre elles présente encore un dépôt jaune à l'intérieur du verre. Beaucoup de ces boîtes contiennent encore de la ouate de coton maintenue par des épingles dans un angle. Elle permettait de tenir les boules de paradichlorobenzène en place afin d'éviter des dégradations des spécimens par choc ou par contact (fig. 14).

Les spécimens ou les boîtes ne portent pas d'étiquette ou de marquage mentionnant la présence de produits toxiques.



Figure 13 : fioles de Sauvinet anciennement piquées dans les boîtes d'insectes.

⁴⁸⁶ Prost, 18.10.2007, *communication orale*. Comme indiqué ci-dessus, ces biocides n'ont pas été utilisés au MJSD mais par différents naturalistes avant l'entrée de leur collection au musée.

L'état de conservation diffère d'un spécimen à l'autre et ceux qui ne présentent pas de traces d'altérations dues aux nuisibles laissent supposer qu'ils ont subi un traitement biocide, l'inverse n'étant pas nécessairement vrai.

L'observation visuelle sous rayons UV d'environ 200 planches d'herbier n'indique aucune fluorescence due à la présence de chlorure mercureux⁴⁸⁷. Toutefois, ceci ne permet pas d'affirmer l'absence de résidus de biocide contenant du mercure. Ceux-ci pouvant encore être présent sous forme de chlorure mercurique par exemple.

Enfin, différents dépôts blancs poudreux ont été remarqués dans les collections ; notamment autour des yeux et sur la patte d'un chat, ainsi que dans les carton-livres et sur les planches de l'Herbier de Leiris. Cependant, les analyses présentées ci-dessous montrent qu'il ne s'agit pas de biocides résiduels.

D'autres dépôts de ce type sont présents dans les boîtes d'insectes de la collection Roguenant. Il s'agit des pastilles de paraformaldéhyde utilisées par le collecteur et qui se désagrègent (fig. 14)⁴⁸⁸.



Figure 14 : ouate de coton et résidus de pastilles de PAF.

⁴⁸⁷ Le carton contenant les liasses n° 572-592 de l'Herbier Poinsoy a été passé en revue en raison de la diversité des collecteurs dont les planches ont été rassemblées dans cette collections. Certains étant connus pour avoir traités leurs spécimens au chlorure mercurique.

⁴⁸⁸ Prost, 14.5.2008, *communication orale*.

4.2.3. Étude de la contamination des collections par des biocides inorganiques

Au vu des informations obtenues dans le cadre des recherches en archives, d'enquêtes et d'observations visuelles, il s'est avéré utile de mettre en œuvre des analyses instrumentales⁴⁸⁹, pour vérifier la présence/absence d'arsenic et de mercure⁴⁹⁰ dans les collections du MJSD. Il s'agissait donc de faire une analyse qualitative – et non pas quantitative – des éléments en surface de quelques spécimens et dans leur environnement afin d'examiner les sources de contamination probables, ainsi qu'une éventuelle dispersion de ceux-ci dans les poussières alentours.

Le but de cette recherche consistait aussi à mettre en évidence des éléments pouvant provenir d'autres biocides et/ou de produits utilisés par les taxidermistes et préparateurs. De plus, les dépôts suspects mentionnés ci-dessus ont été examinés afin de déterminer leur composition élémentaire.

METHODE UTILISEE

Des analyses à l'aide d'un microscope électronique à balayage équipé d'un détecteur de rayons X à dispersion d'énergie (MEB-EDX)⁴⁹¹ ont été mises en œuvre pour répondre aux différentes questions exposées ci-dessus. Cette méthode multiélémentaire et simultanée permet d'obtenir une vue globale de la composition chimique d'un échantillon au niveau des éléments de numéro atomique 5 à 92.

CHOIX DES ECHANTILLONS

Le nombre d'échantillons pouvant être analysé a été volontairement adapté au temps disponible et au budget. Ainsi, seules les collections de mammifères-oiseaux et les herbiers ont-elles été considérées puisqu'une partie de ces spécimens ont vraisemblablement subi des traitements avec des pesticides à base d'arsenic et de mercure.

Trois oiseaux montés à différentes dates ont été sélectionnés : deux geais respectivement datés de 1830 et du début du XX^e siècle (fig. 15 et 16), ainsi qu'un faisan naturalisé dans les années 1990 et n'ayant pas été traité au savon arsenical (fig. 17). Des prélèvements de surface ont été effectués sur la tête et sous le

⁴⁸⁹ Aucun test microchimique n'a été effectué puisque nous avons accès à une méthode d'analyse multiélémentaire plus fiable et, dans notre cas, plus rapide (le MJSD ne possédant pas d'équipement et de matériel de laboratoire de chimie).

⁴⁹⁰ Quelques biocides constitués de composés organiques et susceptibles de se trouver à l'état gazeux ont également pu être analysés. Voir chapitre 4.3.2.

⁴⁹¹ Ces analyses ont été effectuées par S. Pierrat des laboratoires FILAB à Chenôve à l'aide d'un MEB-EDX XL30 ESEM de chez Philips. Les échantillons étant non conducteurs d'électrons, les analyses ont été menées en mode *Low Vac* sous gaz auxiliaire afin d'évacuer les charges. Voir FILAB, 2008, *non publié*.

cou⁴⁹² des spécimens, ainsi que sur les socles⁴⁹³ – en bois peint en blanc, en bois brut et en Sagex® (polystyrène). Des poussières déposées sur l'étagère de stockage de ces deux geais (fig. 18) et sur la table de travail des réserves mammifères-oiseaux (fig. 19) ont également été prélevées. De plus, les poussières contenues dans un filtre HEPA ayant servi lors du dépoussiérage des spécimens d'une vitrine de l'exposition permanente (fig. 20) ont été analysées⁴⁹⁴.

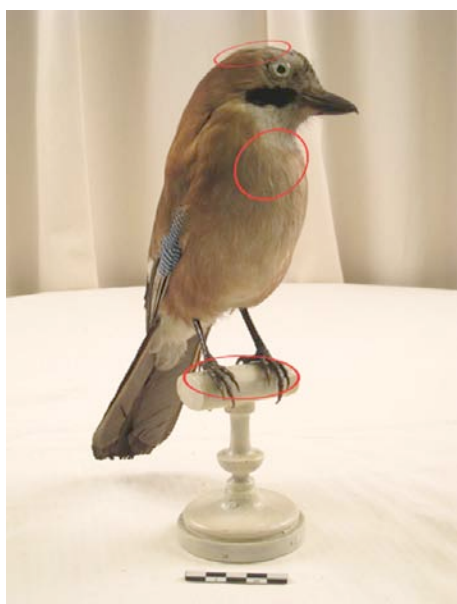


Figure 15 : geai daté de 1830.



Figure 16 : geai daté du début du XX^e siècle.

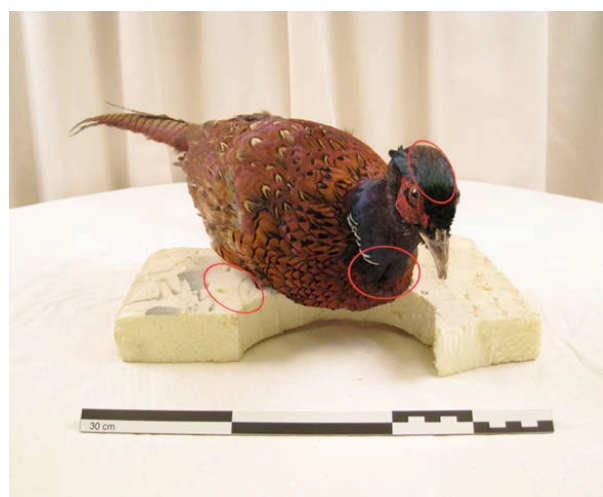
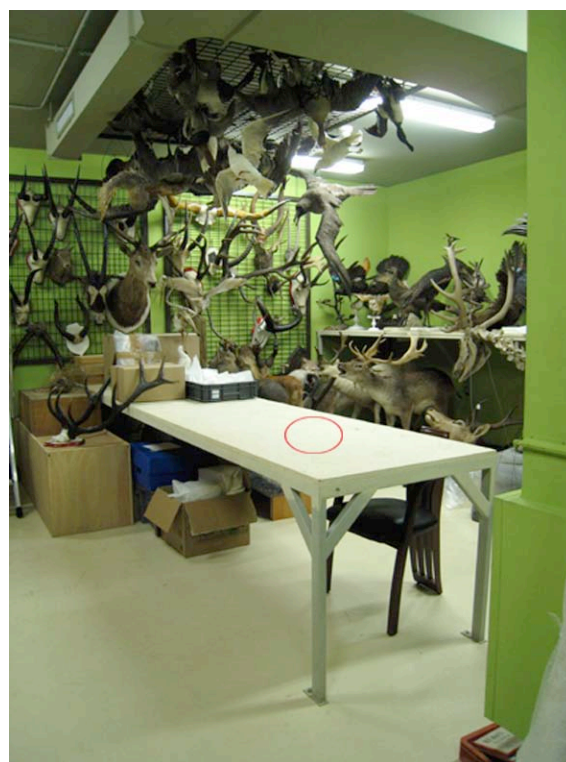


Figure 17 : faisan daté des années 1990.

⁴⁹² Ces zones ont été choisies au vu du « profil arsenical » décrit dans l'étude d'A. Péquignot (2008).

⁴⁹³ Les poussières ont été prélevées sur les parties supérieures des socles ou à proximité du spécimen en raison d'une plus forte probabilité de leur présence que sur les points de préhension habituels.

⁴⁹⁴ Le côté lisse du filtre, retenant les particules les plus fines a été examiné.



Figures 18 et 19 : étagère et table de travail dans les réserves mammifères-oiseaux.



Figure 20 : vitrine des spécimens dépoussiérés.

Les planches d'herbiers ont été sélectionnées dans une même liasse (n° 584 – *Ranunculus flammula* L.), au sein de l'herbier Poincot, en fonction du collecteur et des traitements biocides mentionnés dans les archives. Il s'agit d'un spécimen collecté en 1936 par Bottemer à Vielverge (fig. 21), dont l'herbier est dit « non empoisonné » ; ainsi qu'un spécimen collecté en 1911 par Louise de Chamberet à Cîteaux (fig. 22) dont l'herbier a été « sublimé ». Ces deux planches sont rangées l'une sur l'autre. Les prélèvements de

surface ont été effectués sur le papier de montage et sur le spécimen. Afin d'assurer un meilleur résultat, un fragment de chacune de ces plantes a également été examiné⁴⁹⁵. Des poussières provenant de l'étagère sur laquelle est stocké le carton-livre contenant les planches (fig. 23), ainsi que celles déposées sur la table de travail attenante à ces réserves (fig. 24) ont également été prélevées.

Enfin les dépôts blancs poudreux observés autour des yeux et sur la patte d'un chat monté dans les années 1980 (fig. 25 à 27) et ceux provenant de l'herbier de Leiris (collection entreprise en 1886 – carton XX, 2171 à 2340) ont été analysés (fig. 28 et 29).

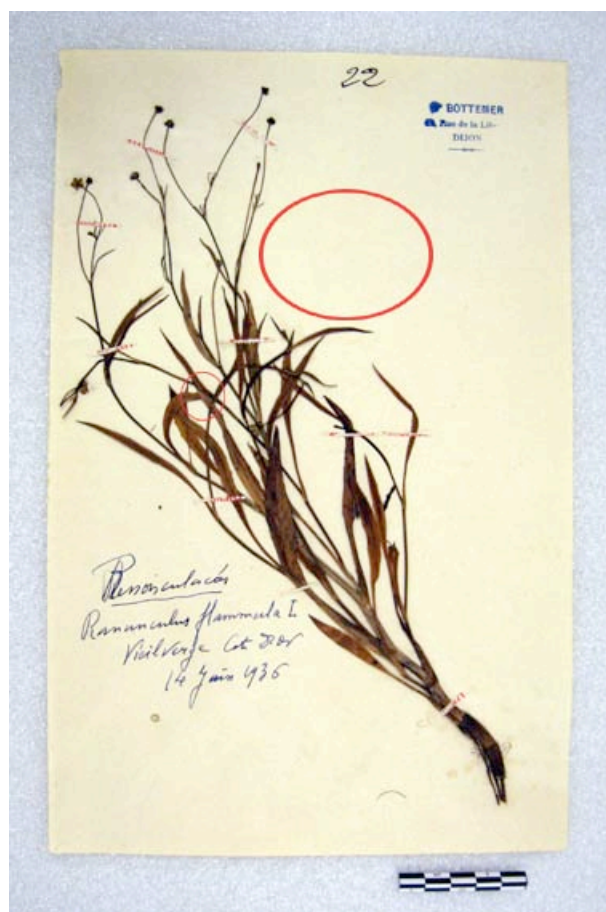


Figure 21 : planche de Bottemer.



Figure 22 : planche de Chamberet.

⁴⁹⁵ Précisons que cette liasse contient deux et trois spécimens de la même espèce collectés par Bottemer et Chamberet à des lieux et dates différents.



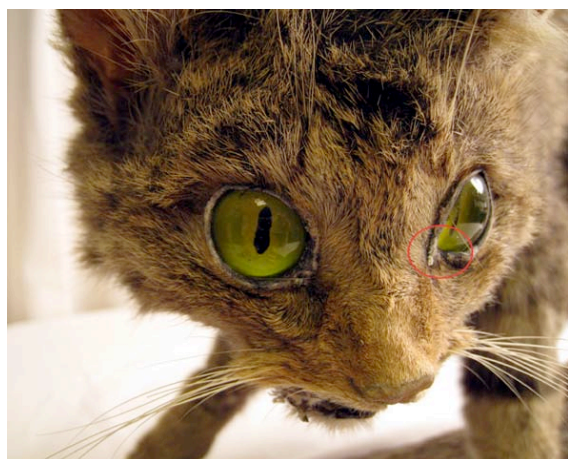
Figure 23 : compactus des réserves d'herbiers.



Figure 24 : table de travail dans la salle attenante aux réserves d'herbiers.



Figure 25 : chat daté des années 1980.



Figures 26 et 27 : détail de dépôts poudreux autour des yeux et sur la patte avant gauche du chat.



Figures 28 et 29 : herbier de Leiris et détail de dépôt poudreux sur ces planches.

TECHNIQUES DE PRELEVEMENT

Les prélèvements de poussière ont été effectués en essuyant délicatement la surface de zones définies (voir ci-dessus) entre 9 et 25 cm², à l'aide d'un papier sans cendres absorbant – composé de fibres de cellulose pure et mesurant environ 20 cm² – légèrement humidifié à l'eau déminéralisée. La totalité de la surface du papier a été examinée.

Les spécimens de l'herbier étant très fragiles, il semblait difficile de pouvoir récupérer des poussières de surface par cette méthode. Celle-ci a tout de même été mise en œuvre et complétée par des prélèvements d'1 mm², à l'aide de scalpel et brucelles, sur une feuille de chacune des plantes, à des endroits discrets et là où il y a déjà des lacunes.

Les dépôts poudreux ont été prélevés à l'aide de scalpels et brucelles, préalablement nettoyés à l'éthanol ; les gants de protection changés après chaque prélèvement afin d'éviter toute contamination d'un échantillon à l'autre.

RESULTATS ET DISCUSSION

Pour l'interprétation des résultats, seuls les pics des spectres les plus importants ont été pris en compte (annexe 7)⁴⁹⁶. Bien que le pourcentage massique ne soit pas proportionnel à la hauteur de ceux-ci, elle donne une idée de la présence relative des différents éléments. De plus, il s'agit d'analyses élémentaires ; il n'est donc pas possible de tirer des conclusions concernant les composés chimiques. Toutefois, nous émettons des hypothèses à ce sujet par association de pics importants pour un même spectre.

La présence de carbone n'a pas été prise en considération car cet élément peut provenir du papier sans cendres à base de cellulose ou d'autres composés tels que des carbonates.

Ces analyses révèlent la présence d'ARSENIC sur les trois oiseaux, sur leurs socles – excepté celui du geai daté du début du XX^e siècle, sur la table de travail, ainsi que dans le filtre d'aspirateur. Dans plusieurs cas, l'importance du pic signalant l'oxygène laisse supposer qu'il s'agit d'oxydes d'arsenic ; or l'arsenic blanc (As₂O₃) était communément utilisé dans les *naturalia* comme biocide, fixatif et préservatif, il entre notamment dans la composition du savon de Bécoeur. À noter que l'image associée au spectre ne contenant que de l'oxyde d'arsenic (Annexe 7, p.177) présente vraisemblablement des cristaux en aiguilles. Ceci permet de supposer une cristallisation rapide du composé⁴⁹⁷ ; une formation des cristaux

⁴⁹⁶ Voir aussi FILAB, 2008, *non publié*.

⁴⁹⁷ Domjan, 16.7.2008, *communication écrite*.

plus lente engendrerait – s'il s'agit bel et bien de trioxyde de diarsenic ou d'une autre forme minérale – une configuration cubique (arsénolite) ou monoclinique (claudetite)⁴⁹⁸.

La majeure partie des échantillons analysés sont contaminés, y compris le faisan non traité au savon arsenical et la table de travail. Cette dispersion de l'arsenic correspond aux résultats d'études similaires dans des collections d'histoire naturelle (Odegaard *et al*, 2003 ; Péquignot, 2008).

Enfin, on note la présence de MERCURE sur le socle du geai daté du début du XX^e siècle. Cet élément peut provenir d'un traitement biocide, tel que l'application de liqueur de Smith sur la partie externe du spécimen.

Les prélèvements de poussières sur les spécimens d'herbiers à l'aide de papiers sans cendres ne présentaient pas suffisamment de matière pouvant être examinés. Seuls les prélèvements de fragments ont été analysés.

Aucune trace de MERCURE n'a été trouvée sur ces échantillons. Cependant, les poussières de l'étagère de stockage et de la table de travail sont contaminées par cet élément, qui provient certainement des collections mentionnées comme « sublimées » dans les archives.

L'absence de mercure dans ces échantillons ne signifie pas que ces spécimens et papiers de montages n'ont pas subi de traitement avec ce type de biocide : des résidus pouvant subsister en dehors des zones d'échantillonnage, le chlorure mercurique a pu sublimer⁴⁹⁹ ou la méthode de prélèvement n'était pas adaptée.

Ce résultat correspond à l'absence de fluorescence sous rayons UV observée sur ces planches. Toutefois, les archives mentionnent que l'herbier de Chamberet a été traité au chlorure mercurique. De plus, dans la majorité des cas, ces planches sont en bon état de conservation et ne présentent aucune altération due à des insectes.

Il est délicat de se prononcer au sujet des SOURCES DE CONTAMINATION ou de la provenance de l'arsenic et du mercure. En effet, le nombre d'échantillons prélevés est extrêmement restreint et donc peu significatif concernant cette question. Toutefois, l'absence d'arsenic dans les herbiers laisse à penser que cet élément identifié dans les collections de mammifères-oiseaux provient bel et bien de ces spécimens et non d'une

⁴⁹⁸ INRS, *FT 89*, 2006, p.1. Outre ces deux formes cristallines allotropes, l'arsenic blanc se présente aussi sous forme amorphe.

⁴⁹⁹ À savoir que ces vapeurs peuvent subsister au sein de différents matériaux tels que le bois et être relarguées lentement. Une étude a notamment révélé la présence de vapeurs de mercure provenant de boîtes en bois ayant anciennement servi à stocker des minéraux contaminés. D'après Waller, Robert *et al*. Survey of Gaseous Pollutant Concentration Distribution in Mineral Collections. In *Collection Forum*, 2000, vol. 14, p.1-32. Cité par Hawks et Makos, 2000, p.35.

« pollution externe ». Cette hypothèse est largement confirmée par la littérature retraçant l'histoire et les modes d'utilisation de l'arsenic dans les *naturalia* de manière générale, ainsi que par les données des archives du MJSD.

Les analyses ont permis de mettre en avant la présence d'AUTRES ELEMENTS dans les poussières prélevées. On trouve généralement des similitudes entre les échantillons provenant des spécimens et ceux de leur socle respectif.

Le plomb peut provenir de biocides résiduels (arséniate de plomb), tout comme de la peinture blanche des socles⁵⁰⁰.

Le fer est également présent dans un grand nombre d'échantillons. Les parties métalliques des animaux naturalisés sont généralement à base d'alliages ferreux. Toutefois, ceci n'explique pas la présence de cet élément dans les herbiers. Celui-ci pourrait plutôt provenir du mobilier de stockage constitué de compactus métalliques mobiles, dans les réserves de mammifères-oiseaux comme dans celles de botanique.

L'étain, le zinc et le baryum identifiés entrent également dans la composition de pesticides. Cependant, il est délicat de les interpréter comme tel en l'absence d'autres éléments associés à ces composés, dont le chlore, le fluor et le silicium des chlorures de zinc et d'étain ($ZnCl_2$ et $SnCl_2$), ainsi que le fluorosilicate de zinc et de baryum ($Zn \cdot SiF_6$ et $Ba \cdot SiF_6$). Le zinc, comme le plomb, pourrait provenir des peintures blanches. Toutefois, nous ne savons pas interpréter l'étain et le baryum identifiés dans ces échantillons.

La présence de calcium, de soufre et d'oxygène sur un des deux geais indiquerait un sulfate de calcium ($Ca \cdot SO_4$), plus communément appelé « plâtre »⁵⁰¹. Celui-ci sert de dessicant et absorbant lors du montage de la peau sur le mannequin.

Les papiers de montage des herbiers comme les fragments de spécimens présentent des poussières contenant du silicium, de l'aluminium et de l'oxygène. Il s'agit certainement de silicates d'aluminium (argile, kaolin...), minerais dont il est difficile d'expliquer la présence dans ces collections : s'agit-il de poussières atmosphériques, d'éléments inhérents aux spécimens ou provenant des traitements qui leur ont été appliqués ?

Enfin, ces analyses révèlent que les DEPOTS BLANCS POUDREUX, tant sur le chat que dans l'herbier examinés ne sont pas des résidus de pesticide.

Il est d'ailleurs surprenant de ne pas trouver les mêmes éléments dans les dépôts autour des yeux et sur la patte du chat. Les premiers se composent essentiellement de soufre, de sodium et d'oxygène, ce qui

⁵⁰⁰ Voir « Introduction – Note sur les matériaux dangereux et leur origine ».

⁵⁰¹ NLM, 2008.

indiquerait entre autre la présence de sulfate de sodium (Na_2SO_4). Le sodium peut également être associé au chlore – faiblement présent ici, composé qui est largement utilisé à différentes étapes de la préparation des peaux, tout comme différents acides (H_2SO_4 par exemple) dont certains éléments pourraient subsister sous forme de traces⁵⁰².

Les éléments provenant du prélèvement sur la patte se composent quant à eux d'aluminium, de potassium, de soufre et d'oxygène ; ces éléments évoquent l'utilisation d'alun de potassium, un grand « classique » en taxidermie. Ce sulfate double d'aluminium et de potassium $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}]$ permet de réduire le gonflement des fibres de collagène ; ses propriétés astringentes resserrent les tissus et bloquent temporairement le processus de décomposition des chairs⁵⁰³.

Le spectre issu d'un pointage sur le poil pris dans la matrice de ce dépôt blanc montre une majorité d'éléments de carbone, oxygène et soufre, ce qui correspond à la composition moléculaire principale de la kératine (protéine de 21 acides aminés à base de soufre, nommés « cystéine »⁵⁰⁴). L'image associée montre une surface en écailles caractéristique de la cuticule des poils⁵⁰⁵.

La poudre prélevée dans l'herbier de Leiris est principalement composée de silice, de magnésium et d'oxygène ce qui peut correspondre à un silicate de magnésium comme le talc⁵⁰⁶, de formule $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$. Celui-ci a pu servir comme agent dessicant et absorbant.

Ces analyses ont permis de vérifier la présence/absence d'arsenic et de mercure malgré un nombre restreint d'échantillons. Les résultats confirment ceux obtenu par d'autres études de ce type. Seule l'absence de mercure sur le spécimen de Chamberet est surprenante puisqu'elle « sublimait » ses plantes. Un plus grand nombre d'échantillons serait nécessaire pour vérifier cette première réponse, ainsi qu'une validation des méthodes de prélèvement.

Il s'avère parfois difficile d'interpréter et d'expliquer la présence de certains éléments identifiés. Une étude plus importante et mettant en œuvre des analyses permettant de connaître les différents composés apporterait évidemment des réponses plus précises.

Enfin, différentes informations ont été révélées au sujet des échantillons de dépôts blancs poudreux : au niveau de la technologie et de l'absence d'éléments toxiques. Toutefois, le chat ou l'herbier de Leiris ont pu être contaminés par dispersion de poussières, comme dans le cas du faisan et du mobilier des réserves.

⁵⁰² Vallée, 2000, p.16-17.

⁵⁰³ Hendry, 1999, p.4 ; Vallée, 2000, p.31-33. Le soufre peut également provenir du poil, comme expliqué dans le paragraphe ci-après.

⁵⁰⁴ $[\text{HOOC}-(\text{H}_2\text{N})\text{HC}-\text{CH}_2-\text{S}-\text{S}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}]$.

⁵⁰⁵ Copray, 1989, p.258-259.

⁵⁰⁶ ChemExper, 2008.

4.3. DONNEES RELEVES EN VUE D'UNE EVALUATION DE RISQUES

Une évaluation de risques sanitaires n'était pas réalisable au MJSD dans le cadre de ce travail. Ce type d'étude nécessite la collaboration de différents spécialistes en toxicologie, épidémiologie, métrologie et médecine du travail, plus de temps et de moyens financiers. Toutefois, les recherches effectuées apportent des données exploitables pour une évaluation de risques sanitaires : une partie des dangers a été identifiée par la mise en évidence de biocides dans les collections⁵⁰⁷ ; la relation dose-effet de ces substances a été brièvement abordée⁵⁰⁸ ; enfin, différents scénarios d'exposition aux biocides dans une partie des collections du MJSD sont listés dans les paragraphes suivants.

Un premier dépistage de composés organiques volatiles, dont les aldéhydes, par le biais d'analyses instrumentales a aussi permis de compléter l'identification de la présence/absence de pesticides, ainsi que de quantifier ces substances dans l'air. Ces mesures ont apportés des informations sur la qualité de l'air de certains des locaux du musée.

4.3.1. Scénarios d'exposition aux biocides

La combinaison entre les différents milieux susceptibles d'être contaminés, les activités autour des collections et les personnes concernées sont présentés sous forme de plans et d'un tableau (fig. 30 à 33 et tableau 6). Ces informations devront toutefois être détaillées et développées pour une évaluation des risques sanitaires.

⁵⁰⁷ Voir chapitres 1.1. et 4.2.

⁵⁰⁸ Voir 2.1. Ces informations devraient être développées et des recherches plus importantes mises en œuvre dans le cadre d'une ERS.

SITUATION DES DIFFERENTES RESERVES, ESPACES DE TRAVAIL ET SALLES D'EXPOSITION :

Premier étage et combles du Pavillon de l'Arquebuse

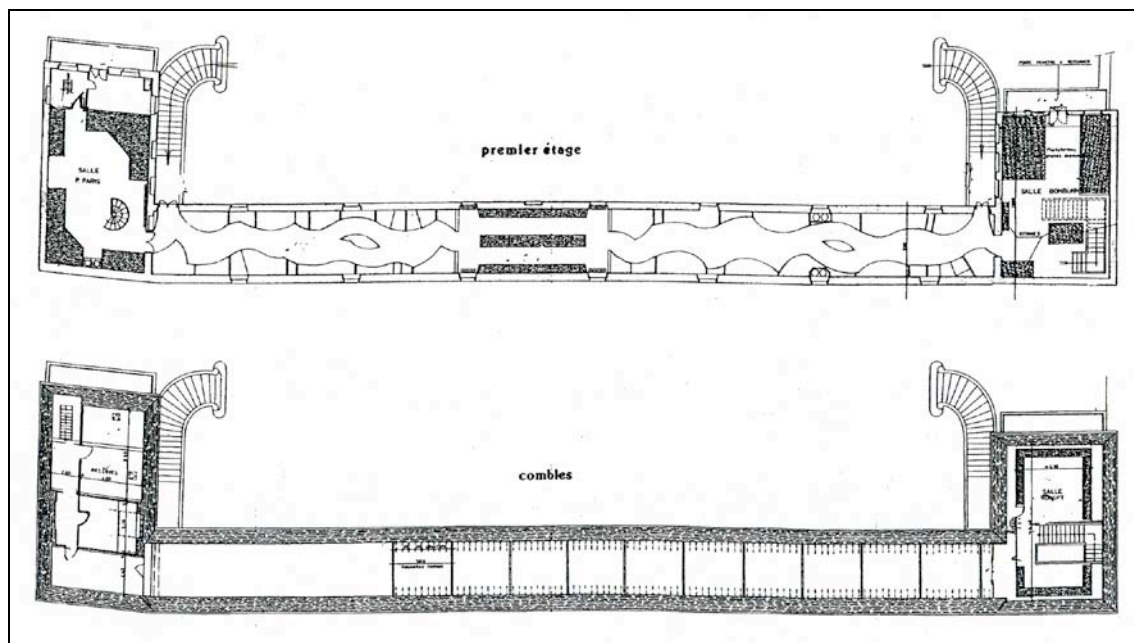


Figure 30 : plan du 1^{er} étage et des combles du Pavillon de l'Arquebuse.

Sous-sol du Pavillon du Raines

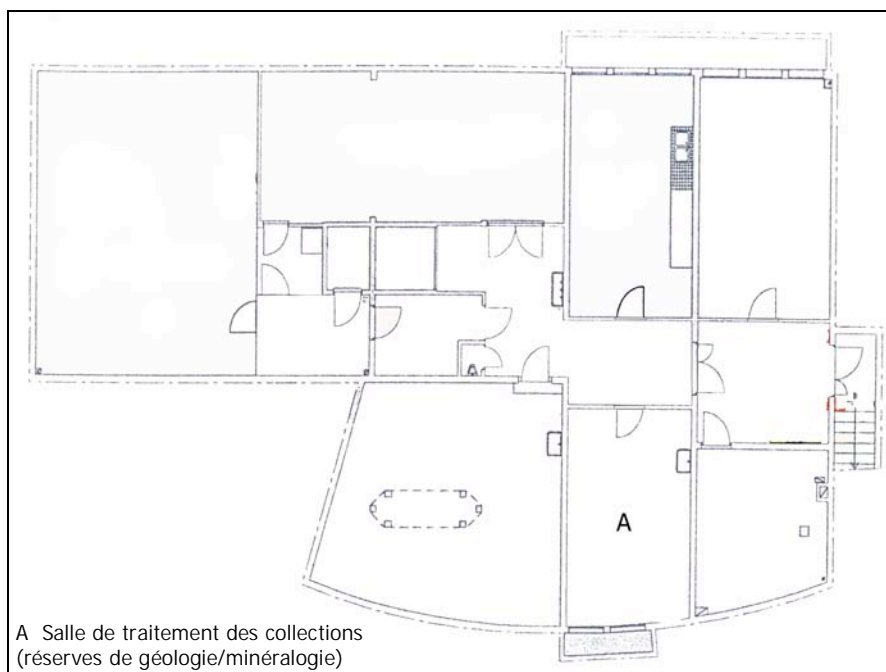


Figure 31 : plan du sous-sol du Pavillon du Raines.

Rez-de-chaussée du Pavillon du Raines

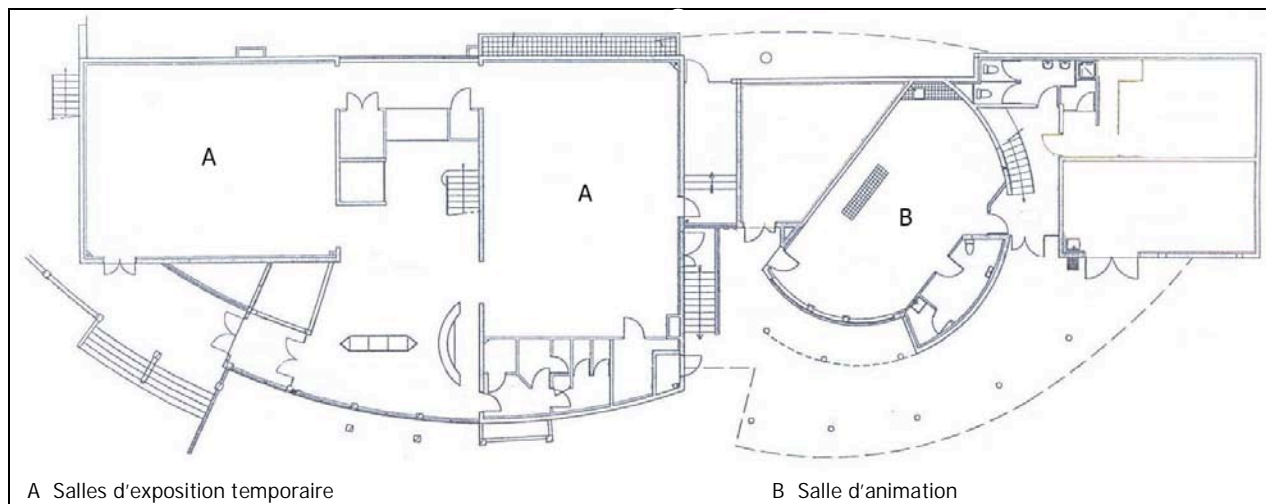


Figure 32 : plan du rez-de-chaussée du Pavillon du Raines.

Deuxième étage du Pavillon du Raines

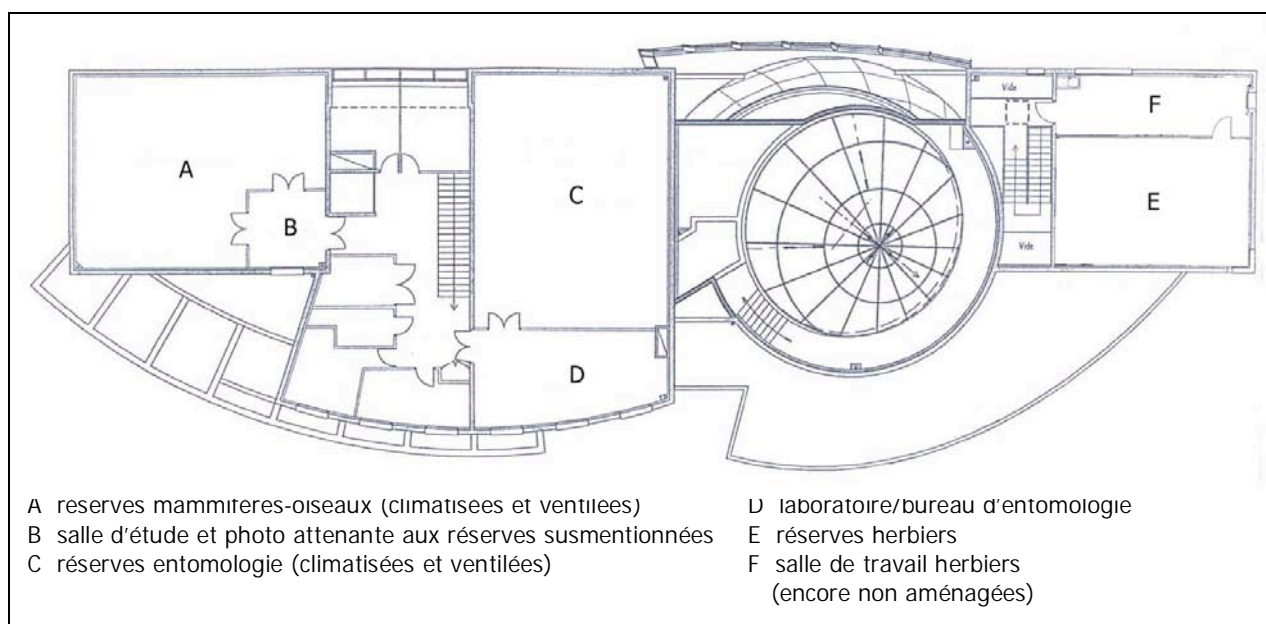


Figure 33 : plan du 2^e étage du Pavillon du Raines.

Les réserves de spécimens « hors gabarit » sont externes et situées dans les anciens abattoirs de la ville.

ACTIVITES AUTOUR DES COLLECTIONS :

Activités	Détail des activités	Lieux	Personnes concernées	Durée /an ⁵⁰⁹
manipulation pour étude, inventaire, photo, etc.		salles de travail	conservateurs, scientifiques, gestionnaire des collections	208h
manipulation pour exposition	installation des spécimens dans les vitrines principalement	salles de travail, salles d'exposition	conservateurs, gestionnaire des collections, personnel technique	120h
conservation-restauration des collections	dépoussiérage	salles de travail, salles d'exposition	gestionnaire des collections, personnel d'entretien	156h
	Conservation-restauration des herbiers	salles de travail	gestionnaire des collections, vacataires	670h
	remise à niveau des fluides	réserves, salles d'exposition	gestionnaire des collections	30h
nettoyage des locaux		réserves, salles de travail, salles d'exposition	personnel d'entretien	156h
entretien technique des locaux		réserves, salles de travail, salles d'exposition	personnel technique	50h
prêts pour exposition/emballage		salles d'exposition, salles de travail	gestionnaire des collections, personnes extérieurs	20h

Tableau 6 : scénarios d'exposition aux biocides au MJSD.

Différentes mesures de sécurité sont déjà appliquées lors du travail autour des collections et des équipements de protection sont à disposition⁵¹⁰ des personnes pouvant notamment être en contact avec des biocides résiduels.

Les spécimens manipulés dans le cadre d'animations avec le public – enfants essentiellement – ont été montés spécifiquement à cet effet, sans produits toxiques (annexe 5).

Le public ne peut en aucun cas toucher les spécimens exposés. Ceux qui sont présentés dans l'exposition permanente sont sous vitrines fermées non hermétiques⁵¹¹.

⁵⁰⁹ Ces chiffres ne correspondent pas toujours à la réalité actuelle mais il s'agit des prévisions de travail qui sera effectué dans les prochaines années.

⁵¹⁰ Ceux-ci ne sont pas toujours utilisés...

⁵¹¹ Ce n'est pas toujours le cas dans les expositions temporaires.

Des blouses en coton blanc, des gants en vinyle et nitrile et des masques anti-poussières jetables de classe P3, ainsi que des demi-masques anti-gaz réutilisables avec des cartouches de types A, B, E et K combinés sont à disposition pour le travail sur les collections⁵¹².

De plus, il est prévu d'acquérir prochainement un caisson d'aspiration mobile.

Les différentes personnes concernées par les dangers liés à la présence de biocides résiduels en seront dorénavant informées. Les méthodes et moyens de protection leurs seront présentés afin d'éviter tous risques éventuels d'intoxication.

Les spécimens qui sortent pour prêt sont accompagnés de consignes de manipulation et d'exposition. Un emplacement dans la fiche de prêt est réservé à l'ajout d'informations concernant d'éventuels dangers.

La question des biocides dans les milieux professionnels est traitée par l'équipe de médecine du travail de la ville de Dijon. Le partenariat avec le MJSD est à cet égard très important. Toute recherche effectuée par le muséum contribue à améliorer l'environnement de travail des agents municipaux. La problématique des biocides a bien sûr été prise en compte.

Pour terminer, dans le cas où une évaluation de risques sanitaires venait à être effectuée, l'ensemble des dangers qui existent dans cette institution devrait être pris en compte. Non seulement, il n'est pas exclu que des biocides résiduels soient aussi présents dans les collections qui n'ont pas été considérées dans cette étude⁵¹³, mais d'autres activités dans ce musée sont également dangereuses. Mentionnons, par exemple, l'utilisation de solvants lors de la préparation (entomologie) et du nettoyage des *naturalia*, la présence de spécimens radioactifs, etc.

Les scénarios d'exposition devront être plus détaillés : les milieux contaminés décrits avec plus de précisions mentionnant les ouvrants, les systèmes de chauffage, ventilation et climatisation (CVC), ainsi que le taux de renouvellement d'air et les matériaux de construction du bâtiment et du mobilier ; l'âge, la condition physique, les habitudes de travail, les postures, les moyens de protections utilisés par les personnes sont d'autres facteurs ; de même que la répartition des durées d'exposition.

⁵¹² Voir chapitre 3.1. pour les différents types d'équipement de protection.

⁵¹³ Il s'agit de la géologie, la minéralogie, la paléontologie, l'ostéologie, l'ethnographie, les œufs et les nids en ornithologie, les coquillages, les zoophytes et trophées (cornes, bois).

4.3.2. Étude préliminaire de la qualité de l'air

Une série de mesures de composés organiques volatiles, dont les aldéhydes, a été réalisée grâce à la participation de l'Institut de Santé au Travail de Lausanne⁵¹⁴. Celle-ci pourra être utilisée lors d'une évaluation des risques sanitaires ultérieure.

Il s'agit d'un dépistage général permettant de mettre en évidence et de quantifier quelques biocides de type phénol, naphthalène et formaldéhyde, ainsi que des composés analysés dans le cadre de recherches sur la qualité de l'air intérieur.

METHODES D'ANALYSES ET TECHNIQUES DE PRELEVEMENT

Les composés organiques volatiles ont été quantifiés par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GCMS) ; méthode dont la limite de détection est de 40 ng/échantillon.

Les prélèvements ont été effectués par échantillonnage passif à l'aide de fibres SPME « 75 µm Carboxen/PDMS StableFlex » de chez Supelco®, exposées durant une heure.

Les aldéhydes ont été analysés par chromatographie en phase liquide à haute performance (HPLC) avec détection UV, après élution à l'acétonitrile et distillation⁵¹⁵. Ces composés ont été prélevés par captage actif à l'aide d'une pompe « Gil – Air – Ex » de chez Ströhlein Instruments® à raison de 0,68 l/min durant quatre heures ; un tube à réactif permettant de les piéger. Il s'agit de cartouches de type « LpDNPH S10 » de chez Supelco®, composées de gel de silice imprégnée de 2,4-dinitrophénylhydrazine (2,4-DNHP)⁵¹⁶.

La température et l'humidité relative ont été relevées en début et fin de chaque prélèvement (annexe 8) en vue de l'éventuelle nécessité d'analyses complémentaires, afin que les conditions d'échantillonnage soient comparables car ces paramètres peuvent modifier la volatilité des composés analysés.

CHOIX ET DESCRIPTION DES LIEUX DE PRELEVEMENTS

En fonction du matériel de prélèvement à disposition (4 fibres SPME et 5 cartouches LpDNPH S10), ceux-ci ont été effectués dans les espaces où une forte concentration de ces produits est susceptible d'être détectée. Il s'agit du cabinet de curiosité et des réserves d'entomologie, de mammifères-oiseaux et de botanique brièvement décrits ci-dessous.

⁵¹⁴ Ces analyses ont été réalisées par Ph. Boiteux et C. K. Huynh.

⁵¹⁵ Les équipements suivants ont été utilisés : EQ/HPLC/09 et/ou EQ/HPLC18, injecteur automatique avec boucle d'injection de 10 µl ou supérieur, data système STAR V5.3 à STAR V6.41 ou supérieur.

⁵¹⁶ Ces méthodes de prélèvements et d'analyses a été mise au point par les collaborateurs de l'IST, messieurs Ph. Boiteux et C. K. Huyhn. Elle est accréditée selon la norme EN ISO/CEI 17025.

Le cabinet de curiosité (env. 134 m³), situé au centre de la galerie du premier étage du pavillon de l'Arquebuse⁵¹⁷ (fig. 30 et 34), est une salle d'exposition qui présente notamment des spécimens en fluides dans des vitrines en bois peint et en verre. Elle est ouverte à ses deux extrémités sur la galerie et comprend quatre fenêtres. La façade nord de ce bâtiment est bordée d'une route à forte circulation qui longe la voie de chemin de fer.

Deux prélèvements d'aldéhydes ont été effectués : le matériel étant posé sur la vitrine-table, au centre de la pièce, à un mètre du sol ; et à l'intérieur d'une vitrine fermée (env. 10 m³) à même hauteur (fig. 35).

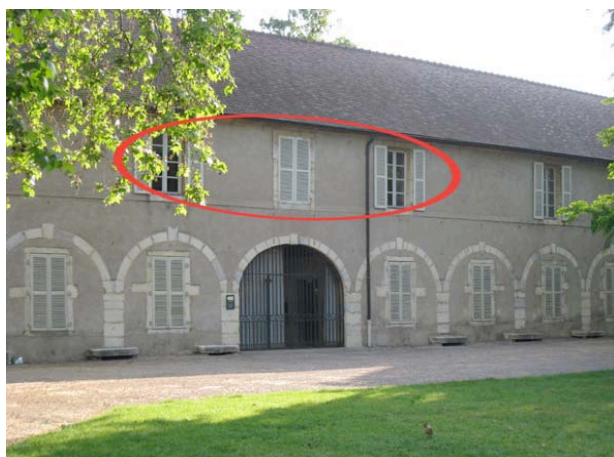


Figure 34 : façade sud du pavillon de l'Arquebuse – emplacement du cabinet de curiosité.

Figure 35 : cabinet de curiosité – emplacement des prélèvements.

Les réserves de mammifères-oiseaux (env. 227 m³) et d'entomologie (env. env. 271 m³) se situent au deuxième étage de l'aile est du pavillon du Raines, construit en 1994 (fig. 33). Il s'agit de pièces sans fenêtres, équipées d'un système CVC⁵¹⁸. Le mobilier est composé de compactus métalliques mobiles. On trouve aussi une table en bois dans les réserves de mammifères-oiseaux et de quelques meubles de rangements en bois également dans celles d'entomologie. Deux prélèvements de COV, dont les aldéhydes, ont été réalisés dans chacune de ces réserves. Dans la première, le matériel a été posé sur la table de travail, à un mètre du sol (fig. 19) et en entomologie, il a été placé sur l'étagère d'un compactus, au centre de la pièce, à 1,50 m. du sol (fig. 36).

Le bureau/laboratoire d'entomologie (env. 95 m³) attenant à ces réserves présente trois fenêtres côté jardin. Une personne y travaille tous les jours. Deux prélèvements y ont également été effectués, sur la table de travail, au centre de la pièce (fig. 37).

⁵¹⁷ Construction de 1608 à 1710.

⁵¹⁸ Le renouvellement d'air se fait automatiquement. À noter que le système de climatisation n'est pas toujours fonctionnel ; la taille des blocs froids n'étant pas adaptée au volume des pièces.



Figure 36 : réserves d'entomologie – emplacement des prélèvements.



Figure 37 : bureau/laboratoire d'entomologie – emplacement des prélèvements.

Le deuxième étage de l'aile ouest du pavillon du Raines, construite en 2005, abrite les réserves de botanique (env. 163 m³) (fig. 33), déménagés en septembre 2007. Cette pièce comporte deux fenêtres orientées côté jardin. Le mobilier de rangement est également constitué de compactus métalliques mobiles posés sur un plancher en Résipan®⁵¹⁹ légèrement surélevé.

Un prélèvement pour l'analyse de COV a été réalisé au centre de la pièce, sur l'étagère d'un compactus, à un mètre du sol (fig. 38).

⁵¹⁹ Bois aggloméré dont la composition n'a pu être précisée. D'après Remoissenet, 18.7.2008, *communication écrite*.



Figure 38 : réserves des herbiers – emplacement du prélèvement.

RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats de ces analyses sont donnés en microgrammes par mètre cube (annexe 8). Aucune information n'a été obtenue pour le prélèvement de COV dans les réserves d'herbiers suite à une perte informatique lors de l'acquisition des données.

Parmi les trois substances biocides analysées, les résultats indiquent tout d'abord l'absence de phénol. Celui-ci se trouve à l'état de traces dans les réserves d'entomologie et il n'a pas été détecté dans le bureau attenant, ni dans les réserves de mammifères-oiseaux. Le naphtalène a été identifié en quantités minimales dans ces mêmes espaces, respectivement à $2,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $1,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Enfin, le formaldéhyde est présent dans tous les lieux de prélèvement. L'ensemble des composés détectés, excepté le formaldéhyde, sont présents en quantités nettement inférieures aux valeurs limites et moyennes d'exposition préconisées par l'INRS (annexe 8)⁵²⁰. Le naphtalène, le benzène et l'acétaldéhyde sont des substances candidates prioritaires dans le travail d'élaboration de Valeurs Guides de qualité d'Air Intérieur (VGAi) mené par l'AFSSET⁵²¹. Les travaux de cette agence doivent donc être consultés pour connaître leurs futurs résultats.

⁵²⁰ Concernant le classement des substances et les valeurs limites, on lira le chapitre 2.1.

⁵²¹ Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail. AFSSET, ... *Document cadre...*, 2007, p.4.

SOURCES D'EMISSION DU FORMALDEHYDE

Le formaldéhyde est présent en quantité plus ou moins importante dans l'air des espaces étudiés.

Il a été quantifié à $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans le cabinet de curiosité et à $169 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à l'intérieur de la vitrine fermée contenant des spécimens en fluides. Ces résultats confirment que ces collections sont une source d'émission de ce composé dans l'air. En effet, le lut des flûtes et bocaux peut présenter des fuites, de même que la porosité de certains verres anciens. La concentration importante de ce composé dans la vitrine s'explique par le fait qu'il s'agit d'un petit volume confiné. Bien qu'elle ne soit pas hermétique, l'air est peu renouvelé. Le formaldéhyde peut également provenir des matériaux constitutifs du mobilier : bois, peinture et polymères synthétiques dans le reste de la galerie. Il apparaît peu probable que l'air extérieur soit une source de contamination – malgré l'implantation du bâtiment à proximité d'une route passante et d'une gare – car les fenêtres ne sont presque jamais ouvertes. Malgré la faible étanchéité du bâtiment, l'échange d'air est certainement peu important⁵²².

Le formaldéhyde a été mesuré à $83 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans les réserves de mammifères-oiseaux et d'entomologie. Aucun spécimen en fluide n'est conservé dans ces pièces. Seules les 200 boîtes de la collection d'insectes de M. Roguenant, déposées en 1993, contiennent encore des résidus de pastilles de paraformaldéhyde. Celles-ci sont-elles encore actives ? Il paraît plus probable que les sources d'émission de ce composé soient liées aux matériaux de construction du bâtiment (daté de 1994), des revêtements, voire du mobilier⁵²³. De même les matériaux de soclage des vertébrés (en bois essentiellement) et les boîtes de stockage des insectes (bois et cartons, certaines encollées) peuvent également relarguer du formaldéhyde.

Outre la distinction des sources d'émission dans ces deux réserves, la différence des résultats peut s'expliquer par un renouvellement d'air inégal. À ce titre, précisons que les mouvements de personnes et les travaux de nettoyages sont nettement plus fréquents dans les réserves d'entomologie que dans celles de mammifères-oiseaux.

Enfin, les $68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mesurés dans le bureau d'entomologie proviennent probablement aussi du bâtiment, du mobilier et autres matériaux, plutôt que de biocides résiduels.

⁵²² Ceci pour limiter les risques d'entrée d'insectes et autres nuisibles. Toutefois, le bâtiment étant ancien, un échange d'air est possible.

⁵²³ Celui-ci est essentiellement métallique. Il y a toutefois quelques éléments en bois.

VALEURS D'EXPOSITION ET MESURES DE SECURITE

Le formaldéhyde est classé « cancérogène pour l'Homme » (Groupe 1) par le CIRC. Aucune exposition ne devrait être tolérée, ce qui est très difficilement réalisable⁵²⁴.

L'AFSSET propose des Valeurs Guides de qualité d'Air Intérieur (hors milieu professionnel) de 50 µg/m³ pour une exposition à court terme de deux heures et de 10 µg/m³ pour une exposition à long terme. L'OMS indique la valeur de 100 µg/m³ pour une exposition à court terme de trente minutes⁵²⁵.

Concernant la comparaison des résultats à ces valeurs d'exposition tolérées, nous remarquons qu'un certain nombre de mesures de sécurité doivent être mises en œuvre afin de limiter les risques pour la santé des personnes concernées. Les différents lieux analysés sont passés en revue et des mesures de sécurités préconisées selon les activités qui y sont effectuées.

Le résultat dans le CABINET DE CURIOSITE indique une valeur légèrement au-dessous de 50 µg/m³ et permet d'affirmer qu'il n'y a pas de risque d'exposition au formaldéhyde pour le public dans cet espace. Un visiteur ne s'arrête que quelques minutes dans cette pièce et ne dépasse jamais la limite d'exposition de deux heures.

Les valeurs relevées à l'intérieur de la VITRINE ne sont pas acceptables lorsque le personnel est amené à les ouvrir pour remettre à niveau les fluides avec de l'alcool, à raison de trois à quatre heures par jours de manière ponctuelle, soit deux à trois fois par année⁵²⁶.

Cette activité ne peut qu'être effectuée sur place puisque certains bords sont difficilement déplaçables. De plus, leur manipulation engendrerait plus de risques. Il est nécessaire de limiter le temps d'exposition et d'utiliser du matériel de protection adéquat pour ce travail : blouse, gants, lunettes et caisson mobile d'aspiration/filtration. Le port de masque anti-gaz captant le formaldéhyde est également conseillé, bien qu'il ne soit pas toujours facile de travailler avec ce type d'équipement. De même, des lunettes imperméables à ce gaz seraient préférables afin d'éviter tout risque aigu d'irritation des yeux.

La concentration de formaldéhyde dans l'air des RESERVES est peu préoccupante dans la mesure où les personnes qui y restent pour de longues durées peuvent répartir leur temps de travail autrement. Seul le nettoyage des locaux, qui a lieu une fois par mois, nous paraît être une activité à risques. Aussi, le personnel d'entretien veillera à ne pas passer plus de trente minutes dans les réserves, quitte à effectuer

⁵²⁴ On lira, entre autres, à ce sujet le rapport de l'AFSSET (... *Le formaldéhyde*, 2007, p.20-25). Notons par exemple, que l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (OQAI) a relevé une médiane de la concentration du formaldéhyde dans les logements français à 19,6 µg/m³.

⁵²⁵ AFSSET, ... *Le formaldéhyde*, 2007, p.39 et 59. Nous ne tenons pas compte ici des valeurs de l'INRS car elles sont en cours de révision.

⁵²⁶ Il s'agit de la seule activité qui implique l'ouverture des vitrines plus de 15 minutes.

le travail en deux temps. Au vu des risques éventuels liés à la présence d'autres biocides résiduels dans les poussières (arsenic, mercure...), il est nécessaire que ces personnes portent une blouse (spécifique à cette activité), des gants et un masque anti-poussières. Les chiffons et autres matériels de nettoyage ne doivent pas non plus être utilisés ailleurs que dans ces locaux. Enfin, l'utilisation d'un aspirateur muni d'un filtre HEPA est fortement conseillée⁵²⁷. Concernant, le traitement des déchets contaminés, ils doivent être stockés dans des sacs plastiques pour être ensuite collectés et détruits, selon la réglementation en vigueur, par une entreprise spécialisée locale⁵²⁸. À ce titre, un premier contact a été pris avec Seteo S.A.S à Saint-Apollinaire.

Enfin, concernant le BUREAU D'ENTOMOLOGIE, dans lequel il a été quantifié $68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de formaldéhyde, des mesures doivent être prises puisque une personne y est exposée huit heures par jour toute l'année. Bien que nous ne possédions pas de valeur moyenne d'exposition professionnelle de référence, il est nécessaire de diminuer la concentration de ce composé cancérigène dans cette pièce. Une première série d'actions simples peuvent être appliquées. Il s'agit de nettoyer les conduits de ventilation et vérifier leur efficacité. De plus, une aération journalière doit être envisagée (env. deux fois 15 minutes). Une des trois fenêtres devra donc être équipée d'une moustiquaire la plus fine possible afin de ne pas laisser entrer d'insectes et autres nuisibles.

Suite à la mise en place des différentes mesures proposées ci-dessus, de nouvelles analyses devront être effectuées afin de s'assurer de leur efficacité.

⁵²⁷ On se référera au chapitre 3.1. pour plus de détails à ce sujet.

⁵²⁸ Gouverneur, 25.7.2008, *communication écrite*.

4.4. SYNTHÈSE

Pour clore cette étude de cas concernant l'influence des biocides sur la conservation des *naturalia* au MJSD, les recherches en archives et les enquêtes ont d'abord fourni bon nombre d'informations. Toutefois, ces données sont lacunaires et ne permettent de retracer que partiellement l'histoire et les modes d'utilisation de ces produits. De manière générale, elles correspondent à ce qui a pu être fait dans d'autres muséums du XIX^e au XXI^e siècle en Europe occidentale.

Pour vérifier la présence résiduelle de ces biocides, il a été nécessaire de mettre en œuvre des analyses instrumentales confirmant – ou infirmant – les résultats des premières recherches et les observations effectuées dans les collections. Celles-ci indiquent notamment que certains spécimens et leur environnement sont contaminés par des composés toxiques inorganiques tels que l'arsenic, le mercure et le plomb.

Afin de connaître les risques auxquels sont exposées les personnes en contact avec ces polluants, une évaluation des risques sanitaire devrait être réalisée. À ce titre, l'étude préliminaire de la qualité de l'air montre principalement que du formaldéhyde se trouve, dans certains locaux, en quantité supérieure aux valeurs d'exposition admissibles. Aussi, les principes de sécurité promulgués devront être mis en application pour éviter tout risque d'intoxication. Par la suite, de nouvelles mesures devront être effectuées afin de s'assurer de l'efficacité de ces principes.

CONCLUSION

Cette étude sur les biocides dans les *naturalia* a tout d'abord permis de soulever la particularité d'utilisation de ces composés pour ce type de collections. En effet, parmi les quelques pesticides décrits, certains présentent également une fonction fixative et/ou préservatrice et entrent donc dans les processus de fabrication des spécimens. Comme nous l'avons vu, les conservateur-restaurateurs doivent tenir compte de cette notion technologique lors de la mise en place de traitements.

En second lieu, la persistance de ces produits toxiques implique la prise de mesures de sécurité lors des différentes activités autour des collections et influence certaines pratiques professionnelles. Rappelons par exemple la nécessité d'utiliser des équipements de protection collectifs et individuels lors de dépoussiérages, ou encore, l'importance de travailler avec des « spécimens pédagogiques sûrs » lors d'animations tactiles.

Bien que leur fonction première consiste à protéger les collections contre les nuisibles, nous avons également montré que les pesticides peuvent entraîner des altérations des matériaux et empêcher ou fausser certaines études scientifiques. La connaissance de leur nature, des produits résiduels en présence, des interactions possibles entre les composés et l'éventualité de formation de sous-produits et produits de dégradation s'avère indispensable en préambule à toute action de conservation-restauration de ces collections.

De manière générale, le problème des biocides résiduels en contexte muséal n'est qu'effleuré actuellement et appelle de futures recherches, des approfondissements et expérimentations plus détaillées. Ces recherches nécessitent une collaboration entre spécialistes de différents domaines (professionnels de musées, chimistes, médecins du travail, toxicologues, épidémiologistes, hygiénistes industriels...).

Dans la mesure du possible, la mise en œuvre de traitements chimiques pour lutter contre les nuisibles doit être évitée et, dans le cas contraire, documentée.

L'utilisation de pesticides dans les musées n'étant généralement pas ou très peu documentée, différents types d'analyses permettent d'apporter des réponses complémentaires. Toutefois, les méthodes de prélèvements doivent être standardisées afin de pouvoir comparer les résultats d'une étude à l'autre. De plus, la sensibilité de certaines méthodes analytiques doit être améliorée et plus particulièrement les tests microchimiques qui sont des moyens d'investigation simples et peu coûteux.

De même, la toxicologie et notamment l'évaluation de valeurs d'exposition aux produits toxiques, sont en constante évolution et révision. Certaines de ces données doivent aujourd'hui être réactualisées, laissant de côté les critères sociaux, économiques ou psychologiques pris en compte jusqu'alors.

Concernant l'épidémiologie, il pourrait être intéressant d'étudier les incidences sur la santé des personnes exposées à long terme à des pesticides dans les musées. À ce titre, la mise en évidence de maladies professionnelles est extrêmement complexe au vu des nombreux critères dont il faut tenir compte, mais aussi de faible population concernée.

L'innocuité de certains pesticides encore utilisés aujourd'hui doit être démontrée au niveau de leurs effets sur les matériaux constitutifs des spécimens. Bien que différentes observations visuelles n'indiquent aucune altération, nous évaluons mal les actions de ces produits au niveau moléculaire.

La recherche concernant les méthodes de décontamination doit être poursuivie. En effet, même si ce type de traitement ne s'avère pas forcément nécessaire, ni réalisable pour les *naturalia*, d'autres objets culturels impliquent la mise en œuvre de détoxications. Il s'agit notamment des artefacts ethnographiques nord américains qui sont restitués aux peuples autochtones.

Enfin, rappelons encore qu'il est primordial de diffuser toutes les données présentées dans cette étude et informer les personnes concernées. En ce sens, nous osons espérer que ce travail aura contribué à cette nécessaire prise de conscience. Du moins, à notre échelle et malgré l'impossibilité de mettre en place une évaluation des risques sanitaires au MJSD, les quelques résultats de cette recherche ont permis de sensibiliser certaines personnes jusqu'alors non convaincues des dangers liés aux pesticides dans les *naturalia*.

DOCUMENTATION

LISTE DES REFERENCES NON PUBLIEES

ARCHIVES MUNICIPALES DE DIJON (ARCHI.MUN.DIJON)

Archi.mun.Dijon. 4R2 Cabinet et muséum d'histoire naturelle – dépenses diverses, quittances d'achat et demandes de financement à la mairie de 1835 à 1947.

ARCHIVES DU MUSEUM – JARDIN DES SCIENCES DE DIJON (ARCHI.MJSD)

Archi.MJSD. Dépenses diverses, quittances d'achat et demandes de financement à la mairie de 1835 à 1912.

FILAB. *Rapport d'analyses MEB. Dossier n°1982*. Document imprimé et informatique, Chenôve, 2008, *non publié*.

Genty, Paul André. *Notice sur les divers herbiers régionaux*. Document manuscrit, Dijon, [non daté [1942-1955 ?], *non publié*.

Martin, Hélène. *Dossier de montage*. Document imprimé et informatique, La Norville, 2008, *non publié*.

Perrot, Marcel. *Résumé du séjour et du travail de M. Perrot au Muséum*. Document dactylographié, Dijon, 1983, *non publié*.

Poncet, Vincent. *Expertise des herbiers du Muséum d'histoire naturelle de Dijon*. Document imprimé, Grenoble, 2002, *non publié*.

AUTRES DOCUMENTS EN POSSESSION DES AUTEURS

Huynh, Cong Khanh. *Pollution intérieure. Approche métrologique de l'exposition*. Document Power Point, Institut universitaire romand de Santé au Travail (IST), Lausanne, 2008, *non publié*.

Perrot, Marcel. *Agenda*. Document manuscrit, Dijon, 1976, *non publié*.

Picot, André. *Les créosotes : des mélanges complexes classés cancérrogènes probables chez l'homme*. Document manuscrit, Chevreuse, 2007, *non publié*.

COMMUNICATIONS ORALE (CONGRES)

International Seminar. Cultural Heritage between Conservation and Contamination – The Issue of Biocidal Products in Museum Collections and Monuments. Berlin, Nov. 29th-Dec. 1st 2007.

Madden, Odile *et al.* Preliminary Investigation into New Collection and Identification Techniques for Volatile Organic Pesticides. 29.11.2007, *communication orale*.

Odegaard, Nancy. The Problem of Pesticides Contaminated Cultural Collections : Awareness, Detection, Removal. 29.11.2007, *communication orale*.

Purewal, Victoria *et al.* New Approaches to the Identification and Treatment of Contaminants in Herbaria. 29.11.2007, *communication orale*.

Sirois, Jane *et al.* The Canadian Conservation Institute's Role in Detecting Pesticide Residues on Museum Objects in Canadian Collections. 30.11.2007, *communication orale*.

Velikova, Tatiana. Use of Biocides for Protection of Library Documents in the Former USSR and at Present. 29.11.2007, *communication orale*.

COMMUNICATIONS PERSONNELLES ORALES ET ECRITES

Chautemps, Marc. Taxidermiste, Muséum – Jardin des Sciences de Dijon. 8.11.2007, *communication orale*.

Child, Robert. Conservateur-restaurateur, Musée National de Wales. 9.6.2008, *communication écrite*.

Cuisin, Jacques. Chargé de Conservation des collections Mammifères et Oiseaux, Muséum national d'histoire naturelle de Paris. 25.1.2008, *communication orale*.

Domjan, Alexis. Chargé de cours en chimie, HEAA Arc de La Chaux-de-Fonds. 16.7.2008, *communication écrite*.

Gottini, Christophe. Taxidermiste, Muséum national d'histoire naturelle de Paris. 25.1.2008, *communication orale*.

Gouverneur, Bastien. Gestion de déchets spéciaux, Seteo S.A.S à Saint-Apollinaire. 25.7.2008, *communication écrite*.

Haenni, Jean-Paul. Conservateur adjoint – entomologiste, Muséum d'histoire naturelle de Neuchâtel. 15.4.2008, *communication orale*.

Huynh, Cong Khanh. Dr ès Sciences, Ing. Chimiste, Institut universitaire romand de Santé au Travail (IST) à Lausanne. 23.6.2008, *communication orale*.

Lenoir, Clément. Agent de salubrité, Station de désinfection de la ville de Dijon. 3.7.2008, *communication orale*.

Masson, Serge. Responsable de la Station de désinfection de la ville de Dijon. 22.12.2007, *communication orale*.

Mignotte, Yves. Chargé de mission en botanique au Muséum – Jardin des Sciences de Dijon. 7.12.2007, *communication orale*.

Minet, Joël. Entomologiste, Muséum national d'histoire naturelle de Paris. 4.6.2008, *communication orale*.

Pautz, Frédéric. Directeur du Jardin botanique de Lyon. 19.11.2007, *communication orale*.

Picot, André. Toxicochimiste, Directeur de Recherche honoraire au CNRS. 4.6.2008 et 23.6.2008, *communications orales*.

Poncet, Vincent. Chargé des collections, Muséum d'histoire naturelle de Grenoble. 10.1.2008, *communication orale*.

Prost, Monique. Chargée des collections d'entomologie, Muséum – Jardin des Sciences de Dijon. 18.10.2007 et 14.5.2008, *communications orales*.

Purewal, Victoria. Conservatrice-restauratrice, Musée National de Wales. 6.5.2008, *communication écrite*.

Remoissenet, Béatrice. Chargée des collections, Muséum – Jardin des Sciences de Dijon. 17.10.2007 ; 19.11.2007 et 18.7.2008, *communications orales et écrites*.

Rosenfeld, Frédérique. Médecin du travail, Muséum national d'histoire naturelle de Paris. 19.6.2008 et 2.7.2008, *communications orales*.

Zimmerli, Martin. Taxidermiste, Muséum d'histoire naturelle de Neuchâtel. 15.4.2008, *communication orale*.

Zmoos, Bernard. Chimiste – responsable du laboratoire, Thommen-Furler AG à La Chaux-de-Fonds.
23.7.2008, *communication orale*.

LISTE DES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Les abréviations suivantes sont utilisées ci-dessous :

AFSSET	Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail
AIC	American Institute for Conservation
CCQ	Centre de conservation du Québec
CIS	Centre international d'informations de sécurité et de santé au travail
CNAM	Conservatoire National français des Arts et Métiers
EHS	<i>Environmental Health & Safety</i> (Etats-Unis)
FT	Fiche Toxicologique
ICC	Institut Canadien de Conservation
ICOM	Conseil international des musées ou <i>International Council Of Museums</i>
ICSC	<i>International Chemical Safety Card</i>
INERIS	Institut National français de l'Environnement Industriel et des Risques
INRS	Institut National français de Recherche et de Sécurité
NLM	<i>National Library of Medicine</i> (Etats-Unis)
OCIM	Office de Coopération et d'Information Muséographiques
OFEV	Office Fédéral de l'Environnement (Suisse)
PANNA	<i>Pesticide Action Network North America</i>
PISSC	Programme International sur la Sécurité des Substances Chimiques
SPNHC	<i>Society for the Preservation of Natural History Collections</i>
Suva	Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents ou <i>Schweizerische UnfallversicherungsAnstalt</i>

AFSSET. *Valeurs guides de qualité d'air intérieur. Document cadre et éléments méthodologiques*. AFSSET, Maisons-Alfort, 2007.

AFSSET. *Valeurs guides de qualité d'air intérieur. Le formaldéhyde*. AFSSET, Maisons-Alfort, 2007.

Anonyme. Guidelines for the Handling of Pesticide Contaminated Collections. In *Conserve O Gram*, National Park Service, 2002, n°2/19.

Asmus, John F. Photodestruction of Malathion on Surfaces. In *Collection Forum*, 2001, vol.16, n°1-2, p87-91.

Bauer, Eric P. et Fuortes, Laurence J. An Assessment of Exposure to Mercury Chloride from Handling Treated Herbarium Plants. In *Veterinary & Human Toxicology*, 1999, vol. 41, n°3, p.154-156.

Boitard, M. *Nouveau manuel complet du naturaliste préparateur... suivi d'un traité des embaumements*. Roret, Paris, 1845 : nouvelle édition revue, augmentée et entièrement refondue.

Bond, Kathleen. Reliability of X-Ray Fluorescence for the Quantitative Analysis of Arsenic in Contaminated Leather. In *Ethnographic Conservation Newsletter*, 2007, n°28, p.9-10.

Bosworth, Jenifer *et al.* Research on Identifying Organic Pesticide Residues at the National Museum of the American Indian. In *AIC Objects Speciality Group Postprints*, 2003, vol. 10, p.188-198.

Boué, Gérard. *Manuel de sécurité et d'hygiène du travail*. Fransel, Aubervilliers, 2006.

Briggs, David *et al.* Mercury Vapour : a Health Hazard in Herbaria. In *The New Phytologist*, 1983, vol. 94, p.453-457.

Brown, Terence A. Genetic material. In Carter, David et Walker, Annette K. *Care and Conservation of Natural History Collections*. Butterworth-Heinemann, Oxford, 1999, p.133-138.

Burroughs, Edward G. *et al.* Exposure of Museum Staff to Formaldehyde during some Wet Specimen Activities. In *Collection Forum*, 2006, vol.20, n°1-2, p.49-54.

Caldararo, Niccolo *et al.* Pesticide Testing of Hoopa Tribe Repatriated Regalia : Taking the Sample. In *Collection Forum*, 2001, vol.16, n°1-2, p.55-62.

Carter, David et Walker, Annette K. Policies and Procedures. In Carter, David et Walker, Annette K. *Care and Conservation of Natural History Collections*. Butterworth-Heinemann, Oxford, 1999, p.177-192.

CCQ. *Préserv'Art*. [En ligne]. CCQ, 2004 [consulté le 30 mai 2008]. <http://preservart.ccq.mcc.gouv.qc.ca>

Center for Safety in the Arts. Chart of Fumigant Hazards. In Zycherman, Lynda A. et Schrock, John Richard (ed.). *A Guide to Museum Pest Control*. Foundation of the American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works and the Association of Systematics Collections, Washington, 1988, p.129-134.

Chabeuf, Maurice et Philibert, Jean. Le Musée d'Histoire Naturelle de Dijon de 1836 à 1976. In *Bulletin scientifique de Bourgogne*, 1980, t. 33, fasc. 1-2, p.1-12.

ChemExper. *ChemExper Chemical Directory*. [En ligne]. ChemExper Inc, 2008 [consulté le 28 juin 2008]. <http://www.chemexper.com>

Child, Robert E. Harmful Effects of Pesticides on People and Property. In *Where to Start, Where to Stop ? Papers from the British Museum-MEG, Ethnographic Colloquium, London, 9-10th November 1989*. Museum Ethnographers Group. Occasional Papers, n°4, 1995, p.94-100.

Child, Robert E. et Pinniger, David. The Inefficient Use of Insecticides in Museums. In Entwistle, Robert *et al.* (ed.). *Life After Death : the Conservation of Natural History Collections*. The United Kingdom Institute for Conservation (UKIC), London, 1992, p.15-16.

CIS. *La prévention en réseau. Produits. Limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques*. [En ligne]. CIS, 2004 [consulté le 18 décembre 2007]. <http://www.ilo.org/public/french/protection/safework/cis/products/explim.htm>

Colas, Guy. *Guide de l'entomologiste*. Ed. Boubée, Paris, 1956.

Commission Européenne. *Entreprises et industrie, Secteurs Industriels, REACH & SGH*. [En ligne]. Commission Européenne, 2008 [consulté le 21 avril 2008]. http://ec.europa.eu/enterprise/reach/index_fr.htm

Copray, Berna. The Conservation of Ornamental Works of Hair. In ICOM-WG Leathercraft and Related Objects. *Internationale Leder- und Pergamenttagung, vom 8. Mai bis 12. Mai 1989*. Deutsches Ledermuseum/Schuhmuseum, Offenbach am Main, 1989, p.257-264.

Cotonat, Jean. *La toxicologie*. Presses Universitaires de France, Paris, 1996. Que sais-je ?

Cuisin, Jacques. Fragilité des *naturalia*, risques non fonctionnels des collections de mammifères et d'oiseaux. In *Conservation-Restauration des Biens Culturels (CRBC)*, 2004, n°22, p.11-26.

Cuisin, Jacques. Les collections d'histoire naturelle : un exemple au laboratoire Mammifères et Oiseaux, Muséum national d'histoire naturelle (Paris). In *Conservation-Restauration des Biens Culturels (CRBC)*, 1999, n°13, p.7-12

Dawson, John E. The Effects of Insecticides on Museum Artifacts and Materials. In Zycherman, Lynda A. et Schrock, John Richard (ed.). *A Guide to Museum Pest Control*. Foundation of the American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works and the Association of Systematics Collections, Washington, 1988, p.135-150.

Dawson, John E. Effects of Pesticides on Museum Materials : a Preliminary Report. In *Biodeterioration 6. Papers Presented at The 6th International Biodeterioration Symposium, Washington, DC, August, 1984*. CAB International, UK, 1986, p.350-354.

Dawson, John E. et Strang, Thomas J.K. La lutte contre les insectes dans les musées : les méthodes chimiques. In *Bulletin technique*, n°15, ICC, Ottawa, 1992.

Dawson, John E. et Strang, Thomas J.K. Le contrôle des moisissures dans les musées. In *Bulletin technique*, n°12, ICC, Ottawa, 1991.

Delorme, Robert et Viel, Guy. Pesticides. In *Encyclopaedia Universalis* [DVD-ROM]. Version 12, France, 2007.

EHS. *Material Safety Data Sheets (MSDS)*. Thymol. MSDS Number T3328. EHS, 2007.

Feigl, Fritz *et al.* *Spot Tests in Inorganic Analysis*. Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1972.

Ferrière, Gérard et Morizot, Christian. Le muséum de Dijon. In *Muséums d'aujourd'hui*, OCIM, Université de Bourgogne, Dijon, 1994, p.63-87.

Fonicello, Nancy A. Unique Problems with the Use of the Handheld XRF Spectrometer for Pesticide Surveys of Ethnographic Collections. In *Ethnographic Conservation Newsletter*, 2007, n°28, p.4-8.

Found, Christine et Helwig, Kate. The Reliability of Spot Tests for the Detection of Arsenic and Mercury in Natural History Collections : a Case Study. In *Collection Forum*, 1995, vol. 11, n°1, p.6-15.

Gibson, Lorraine T. et Brokerhof, Agnes W. A Passive Tube-Type Sampler for the Determination of Formaldehyde Vapours in Museum Enclosures. In *Studies in Conservation*, 2001, vol. 46, n°4, p.289-303.

Glastrup, Jens. Insecticide Analysis by Gas Chromatography in the Stores of the Danish National Museum's Ethnographic Collection. In *Studies in Conservation*, 1987, vol. 32, n°2, p.59-64.

Goldberg, Lisa. A history of pest control measures in the anthropology collections, National Museum of Natural History, Smithsonian Institution. In *Journal of the American Institute for Conservation (JAIC)*, 1996, vol. 35, n°1, p.23-43.

Grosjean, Daniel et Parmar, Sucha S. Removal of Air Pollutant mixtures from Museum Display Cases. In *Studies in Conservation*, 1991, vol. 36, n°3, p.129-141.

Grzywacz, Cecily M. Air Quality Monitoring. In Rose, Carolyn L. *et al.* (ed.). *Storage of Natural History Collections : a Preventive Conservation Approach*, SPNHC, Iowa, 1995, p.197-209.

Harter, Monika et Fekrsanati, Farideh. Pesticide Database Project. In *Ethnographic Conservation Newsletter*, 2007, n°28, p.3-4.

Hawks, Catharine. Historical Survey of the Sources of Contamination of Ethnographic Materials in Museum Collections. In *Collection Forum*, 2001, vol. 16, n°1-2, p.2-11.

Hawks, Catharine *et al.* An Inexpensive Method to Test for Mercury Vapor in Herbarium Cabinets. In *Taxon*, 2004, vol. 53, n°3, p.783-790.

Hawks, Catharine et Bell, Deborah. Removal of Stains Caused by Mercuric Chloride Treatments from Herbarium Sheet Labels. In Comité de l'ICOM pour la conservation. *12th Triennial Meeting. Lyon 29 August-3 September 1999*. Preprints Volume II, James & James, London, 1999, p.723-727.

Hawks, Catharine et Makos, Kathryn. Hidden Hazards : the Dark Side of Collections. In *Conservators in Private Practice (CIPP) Postprints. 2001 AIC Annual Meeting, Dallas, Texas, 2 June*. [En ligne]. 2001. [consulté le 11 novembre 2007]. <http://aic.stanford.edu/sg/cipp/postprints2001.html>

Hawks, Catharine et Makos, Kathryn. Inherent and Acquired Hazard in Museum Objects. Implications for Care and Use of Collections. In *Cultural Ressource Management*, 2000, vol. 23, n°5, p.31-37.

Hendry, Dick. Vertebrates. In Carter, David et Walker, Annette K. *Care and Conservation of Natural History Collections*. Butterworth-Heinemann, Oxford, 1999, p.1-36.

Host, Sabine *et al.* L'évaluation des risques sanitaires : principe et méthode. In *Pollution atmosphérique*, 2006, vol. 48, n°190, p.159-164.

ICSC. *Fiches internationales de sécurité chimique. Chlorure mercurique. ICSC : 0979*. PISSC, 1999.

ICSC. *Fiches internationales de sécurité chimique. DDT. ICSC : 0034*. PISSC, 1999.

ICSC. *Fiches internationales de sécurité chimique. Deltaméthrine. ICSC : 0247*. PISSC, 1999.

ICSC. *Fiches internationales de sécurité chimique. 1,4-dichlorobenzène. ICSC : 0037*. PISSC, 1999.

ICSC. *Fiches internationales de sécurité chimique. Dichlorvos. ICSC : 0690. PISSC, 1999.*

ICSC. *Fiches internationales de sécurité chimique. Disulfure de carbone. ICSC : 0022. PISSC, 1993.*

ICSC. *Fiches internationales de sécurité chimique. Formaldéhyde. ICSC : 0275. PISSC, 1999.*

ICSC. *Fiches internationales de sécurité chimique. Lindane. ICSC : 0053. PISSC, 1999.*

ICSC. *Fiches internationales de sécurité chimique. Mercure. ICSC : 0056. PISSC, 1999.*

ICSC. *Fiches internationales de sécurité chimique. Naphtalène. ICSC : 0667. PISSC, 1999.*

ICSC. *Fiches internationales de sécurité chimique. Nitrobenzène. ICSC : 0065. PISSC, 1999.*

ICSC. *Fiches internationales de sécurité chimique. Paraformaldéhyde. ICSC : 0767. PISSC, 1993.*

ICSC. *Fiches internationales de sécurité chimique. Perméthrine. ICSC : 0312. PISSC, 1993.*

ICSC. *Fiches internationales de sécurité chimique. Phénol. ICSC : 0070. PISSC, 1993.*

ICSC. *Fiches internationales de sécurité chimique. Trioxyde de diarsenic. ICSC : 0378. PISSC, 1999.*

INERIS. *Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. Formaldéhyde.*
INERIS, 2005.

INRS. *Classification, emballage et étiquetage des substances et préparations chimiques dangereuses.*
Textes réglementaires et commentaires. Aide-mémoire technique ED 984. INRS, Paris, 2006.

INRS. *FT 7. Aldéhyde formique et solutions aqueuses.* INRS, Paris, 2006.

INRS. *FT 192. Arsenic et composés minéraux*. INRS, Paris, 2006.

INRS. *FT 224. 1,4-dichlorobenzène*. INRS, Paris, 2004.

INRS. *FT 116. Dichlorvos*. INRS, Paris, 2007.

INRS. *FT 48. Ethanol*. INRS, Paris, 2007.

INRS. *FT 81. Lindane*. INRS, Paris, 1992.

INRS. *FT 55. Mercure et composés minéraux*. INRS, Paris, 1997.

INRS. *FT 204. Naphtalène*. INRS, Paris, 1992.

INRS. *FT 84. Nitrobenzène*. INRS, Paris, 1997.

INRS. Métropol. *Échantillonneurs utilisés pour les polluants organiques et minéraux. Fiche I/V02.01*. INRS, Paris, 2007.

INRS. Métropol. *Stratégie d'évaluation de l'exposition et comparaison aux valeurs limites. Fiche A1/V01*. INRS, Paris, 2005.

INRS. *Introduction aux valeurs limites d'exposition professionnelle*. INRS, Paris, 2007.

INRS. *Les appareils de protection respiratoire. Fiche pratique de sécurité ED 98*. INRS, Paris, 2003.

INRS. *Produits chimiques cancérogènes, mutagènes, toxiques pour la reproduction. Classification réglementaire. Aide-mémoire technique ED 976*. INRS, Paris, 2006.

INRS. *Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France. Aide-mémoire technique ED 984*. INRS, Paris, 2006.

Janowski, Michel. Risque toxicologique et conservation-restauration. In *Conservation-Restauration des Biens Culturels (CRBC)*, 1989, n°1, p.57-60.

Johnson, Jessica S. *et al.* Case Studies in Pesticide Identification at the National Museum of the American Indian. In Comité de l'ICOM pour la conservation. *14th Triennial Meeting. The Hague 12-16 September 2005*. Preprints Volume I, James & James, London, 2005, p.89-95.

Jones, Elizabeth M. et Owen, Robert D. Fluid Preservation Specimens. In *Mammal Collection Management*. Tech University Press, Texas, 1987, p.51-63.

Kearney, Thomas E. Chemical Contamination of Repatriated Native Californian NAGPRA Materials : Principles of Risk Assessment for Acute and Chronic Health Effects. In *Collection Forum*, 2001, vol. 16, n°1-2, p.44-53.

Kelman, Lisa. Considerations for the Conservation of Fur-bearing Mammal Collections. In *Scottish Society for Conservation and Restoration (SSCR) Journal*, 1999, vol. 10, n°1, p.10-14.

Kigawa, Rika *et al.* Effects of Various Fumigants, Thermal Methods and Carbon Dioxide Treatment on DNA Extraction and Amplification : a Case Study on Freeze-Dried Mushroom and Freeze-Dried Muscle Specimens. In *Collection Forum*, 2003, vol. 18, n°1-2, p.74-89.

Knapp, Anthony M. Arsenic Health and Safety Update. In *Conserve O Gram*, National Park Service, 2000, n°2/3.

Knapp, Anthony M. Dichlorvos (Vapona) Update. In *Conserve O Gram*, National Park Service, 1993, n°2/4.

Le Dimet, Sandrine et Jullien, Franz. Arsenic et vieux spécimens. In *Taxidermie. La Lettre de l'OCIM*, 2002, Hors-série, p.105-107.

Leprieur, C.-E. De l'alcool arsénié et de son emploi pour la conservation des collections d'histoire naturelle et spécialement des insectes. In Boudin *et al.* *Recueil de mémoires de médecine, de chirurgie et de pharmacie militaires*. Victor Rozier, Paris, 1861, p.230-239.

Linnie, Martyn J. Pest Control in Museums : the Use of Chemicals and Associated Health Problems. In Knell, Simon (ed.). *Care of collections*. Routledge, London, 1997 : reprinted [1994], p.234-239. Leicester Readers in Museum Studies.

Louis, Geneviève et Muller, François. Produits chimiques cancérogènes, mutagènes ou toxiques pour la Reproduction. In AST67. *Hygiène, Sécurité, Santé au Travail*. [En ligne]. AST67, 1998 [consulté le 18 mai 2008]. http://www.aimt67.org/dossier/dos_substk.htm#Listes

McCann, Michael. Arsenic and Other Preservatives in Museum Specimens. In *Art Hazards News. Special Ressource Issue*, 1995, vol. 18, n°2, p.1-2.

Makos, Kathryn A. Hazard Identification and Exposure Assessment Related to Handling and Use of Contaminated Collections Materials and Sacred Objects. In *Collection Forum*, 2001, vol. 17, n°1-2, p.93-112.

Makos, Kathryn A. et Dietrich, Elizabeth C. Health and Environmental Safety. In Rose, Carolyn L. *et al.* (ed.). *Storage of Natural History Collections : a Preventive Conservation Approach*, SPNHC, Iowa, 1995, p.233-252.

Marte, Fernando *et al.* Arsenic in Taxidermy Collections : History, Detection, and Management. In *Collection Forum*, 2006, vol. 21, n°1-2, p.143-150.

Muir, D. *et al.* Health Hazards in Natural History Museum Work. In *Museums Journal*, 1981, vol. 80, n°4, p.205-206.

Monro, H.A.U. *La fumigation en tant que traitement insecticide*. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, 1970 : 2^e édition révisée [1962].

Moore, Simon. Fluid preservation. In Carter, David et Walker, Annette K. *Care and Conservation of Natural History Collections*. Butterworth-Heinemann, Oxford, 1999, p.92-132.

Morel, P.-C. Note sur l'usage des insecticides contre les arthropodes parasites des animaux domestiques (à l'exclusion des agents des myoses). In *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 1963, n°1, vol.16, p.50-112.

Morizot, Christian. Les collections d'entomologie du Muséum de Dijon. In *Bulletin des musées de Dijon*, 1995, n°1, p.52-54.

Morizot, Christian. Nouvelles du musée de Dijon. In *Bulletin scientifique de Bourgogne*, 1989, t. 42, fasc. 1, p.81-82.

Nason, James D. Poisoned Heritage : Curatorial Assessment and Implication of Pesticide Residues in Anthropological Collections. In *Collection Forum*, 2001, vol.17, n°1-2, p.67-81.

NLM. ChemIDplus Advanced. In NLM, *Specialized Information Services (SIS)*. [En ligne]. NLM, 2008 [consulté le 12 mai 2008]. <http://chem.sis.nlm.nih.gov/chemidplus/chemidheavy.jsp>

Norbut Suits, Linda. Hazardous Materials in your Collection. In *Conserve O Gram*, National Park Service, 1998, n°2/10.

Odegaard, Nancy. Les objets contaminés : étude sur la réduction des risques. In *Préserver le patrimoine autochtone : approches techniques et traditionnelles. Symposium 2007 du 24 au 28 septembre – résumés*. [En ligne]. ICC, 2007 [consulté le 5 décembre 2007]. <http://www.icc-cci.gc.ca/symposium/abstracts>

Odegaard, Nancy *et al.* Use of Handheld XRF for the Study of Pesticide Residues on Museum Objects. In *Collection Forum*, 2006, vol. 20, n°1-2, p.42-48.

Odegaard, Nancy *et al.* *Old Poisons, New Problems. A Museum Resource for Managing Contaminated Cultural Materials*. AltaMira Press, New York, 2005.

Odegaard, Nancy *et al.* New Ideas for the Testing Documentation, and Storage of Objects Previously Treated with Pesticides. In *AIC Objects Speciality Group Postprints*, 2003, vol. 10, p.33-42.

Odegaard, Nancy. Methods to Mitigate Risks from Use of Contaminated Objects, Including Methods to Decontaminate Affected Objects. In *Collection Forum*, 2001, vol. 17, n°1-2, p.117-121.

OFEV. *Ordonnance sur les Mouvements de Déchets (OMoD)*. [En ligne]. Administration fédérale admin.ch, 2008 [consulté le 30 mai 2008]. www.veva-online.ch

Ormsby, Mark *et al.* Investigation of Solid Phase Microextraction Sampling for Organic Pesticide Residues on Museum Collections. In *Collection Forum*, 2006, vol.20, n°1-2, p.1-12.

Osorio, Ana Maria. *Tribal Repatriation of Sacred Objects : Public Health Issues*. In *Collection Forum*, 2001, vol.17, n°1-2, p.82-92.

Oyarzun, R. *et al.* Mercury in Air and Plant Specimens in Herbaria : A Pilot Study at the MAF Herbarium in Madrid (Spain). In *Science of the Total Environment*, 2007, n°387, p.346-352.

Palmer, Peter T. A Review of Analytical Methods for the Determination of Mercury, Arsenic, and Pesticide Residues on Museum Objects. In *Collection Forum*, 2001, vol. 16, n°1-2, p.25-41.

PANNA. *PAN Pesticides Database*. [En ligne]. PANNA, 2007 [consulté le 18 décembre 2007]. <http://www.pesticideinfo.org/index.html>

Péquignot, Amandine. Évaluation de la toxicité des spécimens naturalisés. In *La Lettre de l'OCIM*, 2008, n°116, p.4-9.

Péquignot, Amandine. *Histoire de la taxidermie en France de 1792-1928. Etude des facteurs de ses évolutions techniques et conceptuelles, et ses relations à la mise en exposition du spécimen naturalisé*. Thèse de doctorat, Muséum national d'histoire naturelle, Paris, 2002.

Péquignot, Amandine *et al.* L'arsenic dans les collections d'Histoire naturelle. In *La Lettre de l'OCIM*, 2006, n°105, p.4-10.

Pereira, Melanie. Physical Properties and Health Effects of Pesticides Used on National Park Service Collections. In *Conserve O Gram*, National Park Service, 2001, n°2/17.

Pereira, Melanie et Hammond, Barbara. Chronology of Pesticides Used on National Park Service Collections. In *Conserve O Gram*, National Park Service, 2001, n°2/16.

Picot, André *et al.* Sécurité et prévention – Risques liés à la manipulation des produits cancérogènes. Liste réactualisée des produits génotoxiques classés par le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC de Lyon) et réglementation française sur les produits cancérogènes. 2006. In *Association Toxicologie CNAM*, 2007.

Picot, André *et al.* *La sécurité en laboratoire de chimie et de biochimie*. Technique et Documentation – Lavoisier, Paris, 1992 : 2^e édition revue et augmentée [1989].

Piening, Heinrich. Depot-Dekontamination Schloss Nymphenburg München. In *Restauro*, 2001, vol. 4, p.253.

Pinniger, David B. et Harmon, James D. Pest Management, Prevention and Control. In Carter, David et Walker, Annette K. *Care and Conservation of Natural History Collections*. Butterworth-Heinemann, Oxford, 1999, p.152-176.

Pohland, Georg et Mullen, Peter. Preservation Agents Influence UV-coloration of Plumage in Museum Bird Skins. In *Journal of Ornithology*, 2006, n°147, p.464-467.

Poulin, Jennifer. La science : la contamination des collections par des pesticides. In *Bulletin de l'ICC*, 2004, n°33, p.12-13.

Prost, Monique et Faerdig, Paul. 150 ans d'entomologie au Musée d'Histoire Naturelle de Dijon. In *Bulletin scientifique de Bourgogne*, 1988, t. 41, fasc. 1-2, p.35-41.

Purewal, Victoria. The Identification of four Persistent and Hazardous Residues Present on Historic Plant Collections Housed within the National Museum and Galleries of Wales. In *Collection Forum*, 2001, vol. 16, n°1-2, p.77-86.

Purewal, Victoria. The Identification of Hazardous Pesticide and Fungicide Residues on Herbarium Material. In *Scottish Society for Conservation and Restoration (SSCR) Journal*, 1999, vol.10, n°4, p.5-9.

Reid, Gordon. The Preparation and Preservation of Collections. In Stansfield, Geoff *et al.* (ed.). *Manual of Natural History Curatorship*. Her Majesty's Stationery Office (HMSO), London, 1994, chapitre 3, p.28-69.

Reuben, Peter. Detection and Mitigation Strategies for Contaminated NAGPRA Objects – The Seneca Nation's Experience. In *Collection Forum*, 2006, vol. 20, n°1-2, p.33-41.

Richards, J. Paul. Health and Safety in Natural History Museums. In Stansfield, Geoff *et al.* (ed.). *Manual of Natural History Curatorship*. Her Majesty's Stationery Office (HMSO), London, 1994, chapitre 9, p.213-231.

Rossol, Monona et Jessup, Wendy Claire. No Magic Bullets : Safe and Ethical Pest Management Strategies. In *Museum Management and Curatorship*, 1996, vol. 15, n°2, p.145-168.

Schieweck, Alexandra *et al.* Occurrence of Organic and Inorganic Biocides in the Museum Environment. In *Atmospheric Environment*, 2007, vol. 41, n°15, p.3266-3275.

Schieweck, Alexandra *et al.* Organic and Inorganic Pollutants in Storage Rooms of the Lower Saxony State Museum Hanover. In *Atmospheric Environment*, 2005, vol. 39, n°33, p.6098-6108.

Schmidt, Ole. Insecticide Contamination at the National Museum of Denmark : a Case Study. In *Collection Forum*, 2001, vol. 16, n°1-2, p.92-95.

Simmons, John E. Storage in Fluid Preservatives. In Rose, Carolyn L. *et al.* (ed.). *Storage of Natural History Collections : a Preventive Conservation Approach*, SPNHC, Iowa, 1995, p.161-186.

Sirois, Jane P. The Analysis of Museum Objects for the Presence of Arsenic and Mercury : Non-Destructive Analysis and Sample Analysis. In *Collection Forum*, 2001, vol. 16, n°1-2, p-65-75.

Sirois, Jane P. et Sansoucy, Geneviève. Analysis of Museum Objects for Hazardous Pesticide Residues : a Guide to Techniques. In *Collection Forum*, 2001, vol. 17, n°1-2, p.49-66.

Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants (POPs). [En ligne]. [consulté le 21 avril 2008].
<http://www.pops.int/>

Stone, Janet L. et Edwards, Jennifer A. Dichlorvos in Museums : an Investigation into its Effects on Various Materials. In Zyberman, Lynda A. et Schrock, John Richard (ed.). *A Guide to Museum Pest Control*. Foundation of the American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works and the Association of Systematics Collections, Washington, 1988, p.159-167.

Suva. *Valeurs limites d'exposition aux postes de travail 2007*. SuvaPro, Lucerne, 2007.

Suva. *La sécurité dans l'emploi des solvants*. SuvaPro, Lucerne, 2002.

Szulczynska, Adriana. DDT Health and Safety Update. In *Conserve O Gram*, National Park Service, 2000, n°2/14.

Tello, Helene. *Investigations on Super Fluid Extraction (SFE) with Carbon Dioxide on Ethnological Materials and Objects Contaminated with Pesticides*. Diplomarbeit vorgelegt am Fachbereich 5, Gestaltung Studiengang Restaurierung / Grabungstechnik der Fachhochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, Berlin, 2006.

Tello, Helene *et al.* (a) Decontamination of Ethnological Collections Using Supercritical Carbon Dioxide. In *Collection Forum*, 2005, vol.19, n°1-2, p.45-48.

Tello, Helene *et al.* (b) Decontamination of Ethnological Objects with Supercritical Carbon Dioxide. In Comité de l'ICOM pour la conservation. *14th Triennial Meeting. The Hague 12-16 September 2005*. Preprints Volume I, James & James, London, 2005, p.110-119.

Tello, Helene et Unger, Achim. Pesticides. "Green Chemistry" Finds its Way into Conservation Science. In *Ethnographic Conservation Newsletter*, 2006, n°27, p.3-5.

Tétreault, Jean. Lignes directrices sur les concentrations de polluants dans les musées. In *Bulletin de l'ICC*, 2003, n°31, p.3-5.

Tétreault, Jean. *Polluants dans les musées et les archives : évaluation des risques, stratégies de contrôle et gestion de la préservation*. ICC, Canada, 2003.

Unger, Achim *et al.* *Conservation of Wood Artifacts. A Handbook*. Springer, Berlin, 2001.

Vallée, Karen. *Influence des traitements chimiques sur la conservation des objets d'histoire naturelle ; un exemple parmi les vertébrés supérieurs*. Travail de fin d'études – École supérieure d'arts appliqués du canton de Neuchâtel, 2000.

Van Dam, Andries J. DMDM-Hydantoin : the Promising Result of a Search for an Alternative in fluid Preservation of Biological Specimens. In *Collection Forum*, 2003, vol.18, n°1-2, p.104-115.

Vingelsgaard, Vigdis et Schmidt, Anne Lisbeth. Removal of Insecticides from Furs and Skins. Registration of Conservation Condition. In Comité de l'ICOM pour la conservation. *Symposium on Ethnographic and Water-logged Leather 9, 10, 11 June 1986, Amsterdam*. P.B. Hallebeek, Amsterdam, 1986, p.51-60.

Von Endt, David W. Spirit Collections : a Preliminary Analysis of some Organic Materials Found in the Storage Fluids of Mammals. In *Collection Forum*, 1994, vol.10, n°1, p.10-19.

Von Rotberg, Werner *et al.* First Results of a Pilot Decontamination in a PCP Polluted Building by Means of a Humidity Controlled Thermal Process, 1997. [En ligne]. *Conservation On Line (CoOL)*. 2008 [consulté le 6 mai 2008]. <http://palimpsest.stanford.edu/byauth/gagelmann/gagelmann.html>

Ware, George W. *The Pesticide Book*. W. H. Freeman and Company, San Francisco, 1978.

Williams, Stephen L. *Destructive Preservation : a Review of the Effects of Standard Preservation Practices on the Future Use of Natural History Collections*. Göteborg Studies in Conservation, Sweden, 1999.

Williams, Stephen L. *et al.* Effect of DDVP on Museum Materials. In *Curator*, n°32/1, 1989, p.49-68.

Williams, Stephen L. *et al.* Considerations in the Use of DDVP Resin Strips for Insect Pest Control in Biological Research Collections. In *Biodeterioration 6. Papers Presented at The 6th International Biodeterioration Symposium, Washington, DC, August, 1984*. CAB International, UK, 1986, p.344-350.

Williams, Stephen L. et Hawks, Catharine A. Condition of Type Specimens of the Genus *Peromyscus*. In *Journal of Mammalogy*, 1992, vol. 73, n°4, p.731-743.

Williams, Stephen L. et Hawks, Catharine A. History of Preparation Materials Used for Recent Mammal Specimens. In Genoways, Hugh *et al.* (ed.). *Mammal Collection Management*. Tech University Press, Texas, 1987, p.21-49.

Wood, Alan. Compendium of Pesticide Common Names. [En ligne]. *Alan Wood's Web Site*. 2008 [1996] [consulté le 12 mai 2008]. <http://www.alanwood.net/pesticides/index.html>

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : taches gris noir sur une planche d'herbier. Hawks et Bell, 1999, p.723.	57
Figure 2 : masques anti-particules. CCQ, 2004.	68
Figure 3 : masque anti-gaz filtrant (à cartouches). CCQ, 2004.	69
Figure 4 : exemples d'étiquettes pour des spécimens contaminés. INRS, <i>Classification...</i> , 2006, p.26.	72
Figure 5 : plan du parc de l'Arquebuse. Ferrière et Morizot, 1994, p.68 ; modifié et mis à jour par l'auteur.	86
Figure 6 : façade sud du Pavillon de l'Arquebuse. ©MJSD.	87
Figure 7 : façade nord du Pavillon du Raines. ©MJSD.	87
Figure 8 : boîtes d'insectes et nids d'hyménoptères. ©MJSD.	89
Figure 9 : liasses de planches d'herbiers maintenues dans des carton-livres sanglés. ©MJSD.	89
Figures 10 et 11 : mammifères et oiseaux dans les réserves du Pavillon du Raines. ©MJSD.	90
Figure 12 : spécimens en fluide exposés dans le "cabinet de curiosités". ©MJSD.	90
Figure 13 : fioles de Sauvinet anciennement piquées dans les boîtes d'insectes. ©MJSD.	97
Figure 14 : ouate de coton et résidus de pastilles de PAF. ©MJSD.	98

Figure 15 : geai daté de 1830. ©MJSD.....	100
Figure 16 : geai daté du début du XX ^e siècle. ©MJSD.....	100
Figure 17 : faisan daté des années 1990. ©MJSD.....	100
Figures 18 et 19 : étagère et table de travail dans les réserves mammifères-oiseaux. ©MJSD.....	101
Figure 20 : vitrine des spécimens dépoussiérés. ©MJSD.....	101
Figure 21 : planche de Bottemer. ©MJSD.....	102
Figure 22 : planche de Chamberet. ©MJSD.....	102
Figure 23 : compactus des réserves d'herbiers. ©MJSD.....	103
Figure 24 : table de travail dans la salle attenante aux réserves d'herbiers. ©MJSD.....	103
Figure 25 : chat daté des années 1980. ©MJSD.....	104
Figures 26 et 27 : dépôts poudreux autour des yeux et sur la patte avant gauche du chat. ©MJSD.....	104
Figures 28 et 29 : herbier de Leiris et détail de dépôt poudreux sur ces planches. ©MJSD.....	104
Figure 30 : plan du 1 ^{er} étage et des combles du Pavillon de l'Arquebuse. ©MJSD.....	110
Figure 31 : plan du sous-sol du Pavillon du Raines. ©MJSD.....	110
Figure 32 : plan du rez-de-chaussée du Pavillon du Raines. ©MJSD.....	111
Figure 33 : plan du 2 ^e étage du Pavillon du Raines. ©MJSD.....	111
Figure 34 : façade sud du pavillon de l'Arquebuse – emplacement du cabinet de curiosité. ©MJSD.....	115
Figure 35 : cabinet de curiosité – emplacement des prélèvements. ©MJSD.....	115
Figure 36 : réserves d'entomologie – emplacement des prélèvements. ©MJSD.....	116
Figure 37 : bureau/laboratoire d'entomologie – emplacement des prélèvements. ©MJSD.....	116
Figure 38 : réserves des herbiers – emplacement du prélèvement. ©MJSD.....	117

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : méthodes d'analyses utilisées pour l'identification de biocides.....	37
Tableau 2 : données toxicologiques de biocides résiduels.....	49
Tableau 3 : classification des masques anti-particules.....	68
Tableau 4 : types de filtres anti-gaz.....	69
Tableau 5 : liste des biocides susceptibles d'avoir été utilisés dans les collections du MJSD au cours du temps.....	96
Tableau 6 : scénarios d'exposition aux biocides au MJSD.....	112

LISTE DES ABREVIATIONS

AAS	Spectrométrie d'Absorption Atomique (SAA) ou <i>Atomic Absorption Spectrometry</i>
ACGIH	<i>American Conference of Governmental Industrial Hygienists</i>
AFSSET	Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail

CAS	<i>Chemical Abstracts Service</i>
CE	Concentration Effective
CIRC	Centre International de Recherche sur le Cancer
CIS	Centre international d'informations de sécurité et de santé au travail
CL	Concentration Létale
CMR	Cancérogènes, Mutagènes, Reprotoxiques
COV	Composé Organique Volatile
CVC	Chauffage, Ventilation et Climatisation ou <i>HVAC</i> pour <i>Heating Ventilating and Air-Conditioning</i>
DDT	Dichlorodiphényltrichloroéthane ($C_{14}H_9Cl_5$)
DDVP	Dichlorvos ($C_4H_7Cl_2O_4P$)
DE	Dose Effective
DL	Dose Létale
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
EPI	Equipements de Protection Individuelle
ERS	Evaluation de Risques Sanitaires
FTIR	Spectrométrie InfraRouge à Transformée de Fourier (IRTF) ou <i>Fourier Transformed InfraRed spectrometry</i>
GC-MS	Chromatographie en Phase Gazeuse couplée à la Spectrométrie de Masse (CPG-SM) ou <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry</i>
HEPA	Haute Efficacité pour les Particules de l'Air ou <i>High Efficiency Particulate Air</i>
HPLC	Chromatographie en phase liquide à haute performance (CLHP) ou <i>High Performance Liquid Chromatography</i>
ICOM	Conseil international des musées ou <i>International Council Of Museums</i>
ICP-MS	Spectrométrie de Masse Couplée à un Plasma Inductif (SM-CPI) ou <i>Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry</i>
ICSC	<i>International Chemical Safety Card</i>
INRS	Institut National français de Recherche et de Sécurité
IUPAC	<i>International Union of Pure and Applied Chemistry</i>
MEB-EDX	voir SEM-EDS
MJSD	Muséum – Jardin des Sciences de Dijon
MNHN	Muséum National d'Histoire Naturelle (Paris)
OQAI	Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur
PAF	Paraformaldéhyde (CH_2O)
PAN	<i>Pesticide Action Network</i>
PDB	Paradichlorobenzène ($C_6H_4Cl_2$)
PCP	Pentachlorophénol (C_6HCl_5O)

PMMA	Polyméthacrylate de méthyle ou <i>PolyMethyl MethAcrylate</i> (C ₅ O ₂ H ₈) _n ou Plexiglas®
PVC	Chlorure de polyvinyle ou polychlorure de vinyle ou <i>polyvinyl chloride</i> (CH ₂ -CHCl) _n
REACH	Enregistrement, évaluation, autorisation et restrictions des substances chimiques ou <i>Registration, Evaluation, Authorisation and restriction of CHemicals</i>
SC-CO ₂	Dioxyde de carbone à son état supercritique ou <i>SuperCritical Carbon Dioxide</i>
SEM-EDS	Microscopie Electronique à Balayage couplé à la Dispersion d'Energie des rayons X (MEB-EDX) ou <i>Scanning Electron Microscopy coupled with Energy Dispersive Spectroscopy</i>
SPME	Micro-Extraction en Phase Solide ou <i>Solid-Phase MicroExtraction</i>
Suva	Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents ou <i>Schweizerische UnfallversicherungsAnstalt</i>
ULPA	<i>Ultra Low Penetration Air</i>
VGAI	Valeurs Guides de Qualité d'Air Intérieur
VLCT ou VLE	Valeurs Limites d'Exposition à Court Terme
VLEP	Valeurs Limites d'Exposition Professionnelle
VME	Valeurs limites de Moyenne d'Exposition
XRF	Spectrométrie de fluorescence de rayons X (SFX) ou <i>X Ray Fluorescence</i>

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 – Liste de biocides. Descriptions

Annexe 2 – Liste de biocides. Descriptions, classifications et synonymes

Annexe 3 – Tests microchimiques

Annexe 4 – Liste d'organismes relatifs à la toxicologie, la sécurité et l'hygiène industrielle

Annexe 5 – Spécimens pédagogiques

Annexe 6 – Exemples de listes de dépenses et quittance d'achat du MJSD

Annexe 7 – Résultats d'analyses de poussières (MEB-EDX)

Annexe 8 – Données et résultats d'analyses de la qualité de l'air

ANNEXES

ANNEXE 1 – LISTE DE BIOCIDES. DESCRIPTIONS

Cette liste non exhaustive présente les caractéristiques des biocides mentionnés dans ce travail. La bibliographie complémentaire ci-dessous, ainsi que l'annexe 2 permettent de la compléter.

Index et bases de données de pesticides :

- Coberly, Robert *et al.* *Catalogue of Pesticide Chemical Names and Their Synonyms*. Springfield, USA, 1990 : 2^e édition.
- Kidd, Hamish et James, David R. *Pesticide Index : an Index of Chemical, Common and Trade Names of Pesticides and Related Crop-Protection Products*. Royal Society of Chemistry, Cambridge, 1991 : 2^e édition.
- Milne, G.W.A (ed.). *Pesticides. An International Guide to 1800 Pest Control Chemicals*. Ashgate, UK, 2004 : 2^e édition.

Concernant les différents noms de marques des biocides, on consultera entre autres Odegaard *et al* (2005, p.27-30) et Pereira (2001, *Chronology of Pesticides...*).

Abréviations :

CAS *Chemical Abstracts Service*

SPO Seuil de Perception Olfactive

TV Tension de Vapeur. Elle caractérise l'aptitude d'un liquide à libérer des vapeurs. Plus elles sont élevées, plus les substances ont tendances à s'évaporer. D'après Picot *et al*, 1992, p.35.

Compilée d'après les fiches INRS, ISCS, EHS et : Dawson et Strang, 1992 ; Goldberg, 1996 ; Kelman, 1999 ; PANNA, 2007 ; Péquignot *et al*, 2006 ; Pereira, *Chronology of Pesticides...*, 2001 ; Pereira, *Physical Properties...*, 2001 ; Purewal, 2001 ; Rossol et Jessup, 1996 ; Dawson et Strang, 1992 ; Unger *et al*, 2001 ; Vallée, 2000 ; Wood, 2008.

Composés inorganiques

Nom commun	Autres noms	Formule brute	Propriétés physiques	Numéro CAS	Autre
Arsenic	Arsenic gris, arsenic métallique	As	Cristaux friables d'aspect métallique gris-acier. Sans odeur	7440-38-2	
Arsenic blanc	Trioxyde de diarsenic, oxyde d'arsenic III, anhydride arsénieux, acide arsénieux	As ₂ O ₃	Poudre blanche ou cristaux transparents, inodores, de saveur âcre et acide. Soluble dans l'eau mais pratiquement insoluble dans la plupart des solvants organiques.	1327-53-3	Entre dans la composition du savon de Bécœur
Arsenic rouge	Sulfure d'arsenic, réalgar	As ₂ S ₂	Minéral rouge	?	
Arsenic jaune	Trisulfure d'arsenic, orpiment	As ₂ S ₃	Poudre jaune-orange	1303-33-9	
Arsenic acide	Acide arsénique	H ₃ AsO ₄	Cristaux hygroscopiques. Très soluble dans l'eau	1327-52-2	
Arséniate de potassium	Dihydrogéoarsénate de potassium, sel de Macquer	KH ₂ AsO ₄	Cristaux ou poudre incolore ou blancs	7784-41-0	
Arséniate de plomb		As ₂ O ₄ Pb ₃	Poudre blanche	3687-31-8	
Chlorure mercurique	Sublimé corrosif, chlorure de mercure II, dichlorure de mercure	HgCl ₂	Cristaux blancs ou nacrés ou incolores à saveur métallique. Soluble dans l'eau, l'oxyde d'éthyle et l'acétate d'éthyle. Très soluble dans les alcools et l'acétone. Réagit fortement avec le soufre.	7487-94-7	TV à 20 °C : 0,1 Pa. Entre dans la composition de la liqueur de Smith
Fluorosilicate de baryum	Hexafluorosilicate de baryum	Ba·SiF ₆	Solide	17125-80-3	Fongicide, insecticide et rodenticide, notamment utilisés dans les herbiers
Fluorosilicate de zinc	Hexafluorosilicate de zinc	Zn·SiF ₆	Solide	16871-71-9	
Chlorure de zinc II	Dichlorure de zinc	ZnCl ₂	Cristaux blancs ou incolores	7646-85-7	
Chlorure d'étain II	Dichlorure d'étain, chlorure stanneux	SnCl ₂	Cristaux ou flocons d'apparence grasse	7772-99-8	
Rossol et Jessup (1996, p.164-166) mentionnent une quinzaine de composés inorganiques : antimoine, bore, cuivre, etc.					

Composés naturels d'origine végétale

Nom commun	Autres noms	Formule brute	Propriétés physiques	Numéro CAS	Autre
Camphre		$C_{10}H_{16}O$	Solide blanc à forte odeur	76-22-2	Provient de la résine d'un arbre. Entre dans la composition de la liqueur de Smith et du baume Opodeldoch. Incompatible avec le thymol
Nicotine		$C_{10}H_{13}N_2$	Liquide huileux incolore à jaune pâle ou brun	54-11-5	Dérivé du tabac
Strychnine		$C_{21}H_{22}N_2O_2$	Solide cristallin transparent ou poudre blanche	57-24-9	Provient de la noix vomique, arbre asiatique.
Pyrèthre	Pyrethrum	$C_{20-22}H_{28-30}O_{3-5}$	Liquide incolore à jaune pâle et huileux	8003-34-7	Issu de la fleur de chrysanthème d'Afrique du sud

Une grande variété de composés de cette classe ont pu être utilisés pour leur qualité de biocide sur des objets de musée (plantes aromatiques, huiles essentielles, etc.). Voir entre autres Rossol et Jessup (1996, p.152). La connaissance de certains pesticides naturels remonte au temps de la Grèce antique. D'après Smith, Allan E. et Secoy, Diane M. Forerunners of Pesticides in Classical Greece and Rome. In *Agricultural and Food Chemistry*, 1975, vol. 23, n°6, p.1050.

Composés organochlorés

Nom commun	Autres noms	Formule brute	Propriétés physiques	Numéro CAS	Autre
DDT	Dichlorodiphényltrichloro éthane	$C_{14}H_9Cl_5$	Cristaux incolores, poudre blanche ou solide cireux. Soluble dans l'eau, de nombreux solvants organiques et dans l'huile	50-29-3	TV à 20 °C : 25×10^{-6} Pa
Lindane	γ -hexachlorocyclohexane, γ -HCH	$C_6H_6Cl_6$	Poudre cristalline blanche inodore. Très peu soluble dans l'eau mais dans de nombreux solvants organiques	58-89-9	TV à 20 °C : 0,0012 Pa

La littérature qui traite des biocides dans les musées mentionne d'autres composés de cette classe chimique : l'aldrine.

Composés organophosphorés

Nom commun	Autres noms	Formule brute	Propriétés physiques	Numéro CAS	Autre
Dichlorvos	DDVP, Vapona, <i>No-Pest Strips</i>	$C_4H_7Cl_2O_4P$	Liquide incolore à ambré d'odeur aromatique faible. Peu soluble dans l'eau mais dans les hydrocarbures aromatiques ou chlorés et les alcools	62-73-7	TV à 20 °C : 1,6 Pa
Chlorpyrifos	Chlorpyrifos-ethyl Trichlormethylfos	$C_9H_{11}Cl_3NO_3PS$	Cristaux blancs ou incolores. Très peu soluble dans l'eau.	2921-88-2	
À titre d'exemple, parmi les biocides de la classe des organophosphorés, mentionnons encore le diazinon et le malathion.					

Hydrocarbures aromatiques et halogénés

Nom commun	Autres noms	Formule brute	Propriétés physiques	Numéro CAS	Autre
Naphtalène	Naphtaline, camphre de goudron, boules anti-mites, flocons	$C_{10}H_8$	Cristaux, poudre, aiguilles ou écailles de couleur blanche et d'odeur de goudron. Sublime à température ambiante. Faiblement soluble dans l'eau mais dans la plupart des solvants organiques	91-20-3	TV à 20 °C : 7,2 Pa SPO dès 0,1 ppm
Paradichlorobenzène	1,4-dichlorobenzène, p-dichlorobenzène, PDB, PDCB, Para-Di, boule anti-mite, flocons, cristaux	$C_6H_4Cl_2$	Solide cristallin blanc qui sublime à température ambiante et d'odeur caractéristique. Pratiquement insoluble dans l'eau mais dans l'éthanol, l'acétone et l'oxyde de diéthyle	106-46-7	TV à 20 °C : 170 Pa SPO entre 15 et 30 ppm
Le tétrachlorure de carbone et le bromure de méthyle appartiennent également à cette classe chimique.					

Phénols et phénols substitués

Nom commun	Autres noms	Formule brute	Propriétés physiques	Numéro CAS	Autre
Phénol	Acide carbolique, acide phénique, monohydroxybenzène	C_6H_5OH	Cristaux incolores à jaunes ou rose clair, d'odeur caractéristique	108-95-2	TV à 20 °C : 7,2 Pa SPO dès 0,1 ppm
Thymol	5-méthyl-2-propan-2-yl-phénol	$C_{10}H_{13}OH$	Solide cristallin incolore	89-83-8	Incompatible avec le camphre
Créosote de bois	Créosote de hêtre	$C_7H_8O_2$	Liquide huileux incolore à jaune	8021-39-4	
Nitrobenzène	Essence de mirbane	$C_6H_5NO_2$	Liquide huileux incolore à jaune pâle. Forte odeur d'amandes amères. Peu soluble dans l'eau mais dans l'éthanol, l'oxyde de diéthyle et les huiles	98-95-3	TV à 20 °C : 0,026 Pa SPO dès 0,018 ppm

Pyréthrinoides

Nom commun	Autres noms	Formule brute	Propriétés physiques	Numéro CAS	Autre
Perméthrine		$C_{21}H_{20}Cl_2O_3$	Liquide visqueux, jaune brun à brun et partiellement cristallin	52645-53-1	TV à 20 °C : <10 Pa
Cyperméthrine		$C_{22}H_{19}Cl_2NO_3$	Liquide jaune, visqueux ou pâte, d'odeur caractéristique	52315-07-8	TV à 20 °C : <10 Pa
Deltaméthrine		$C_{22}H_{19}Br_2NO_3$	Poudre cristalline incolore et inodore	52918-63-5	TV à 20 °C : <10 Pa
Cyphénothrine		$C_{24}H_{25}NO_3$	Liquide jaune	39515-40-7	
d-phenothrine		$C_{23}H_{26}O_3$	Liquide jaune pâle à jaune brun	26002-80-2	TV à 20 °C : <10 Pa

Carbamates et thiocarbamates

Nom commun	Autres noms	Formule brute	Propriétés physiques	Numéro CAS	Autre
Bendiocarbe	N-Méthylcarbamate de 2,2-diméthyl-1,3-benzodioxol-4-yle	$C_{11}H_{13}NO_4$	Solide blanc	22781-23-3	
Carbaryl	Méthylcarbamate de 1-naphtyle	$C_{12}H_{11}NO_2$	Cristaux incolores	63-25-2	
Propoxur	N-Méthylcarbamate de 2-isopropoxyphényle	$C_{11}H_{15}NO_3$	Cristaux blancs à jaune pâle	114-26-1	

Fumigants

Nom commun	Autres noms	Formule brute	Propriétés physiques	Numéro CAS	Autre
Disulfure de carbone	Sulfure de carbone	CS ₂	Liquide incolore très volatile, d'odeur faible étherée. Peu soluble dans l'eau mais dans de nombreux solvants organiques	75-15-0	TV à 25 °C : 48 Pa SPO à moins de 0,1 ppm
Soufre	Fleur de soufre	S	Solide jaune de forme variable	7704-34-9	
Paraformaldéhyde	PAF	CH ₂ O	Poudre ou cristaux blancs, d'odeur âcre. Soluble dans l'eau chaude.	30525-89-4	TV à 25 °C : <0,2 Pa
Autres exemples de fumigants (pour certains interdits ou en cours d'interdiction) : oxyde d'éthylène (C ₂ H ₄ O), bromure méthyle (CH ₃ Br), etc.					

Fluides

Nom commun	Autres noms	Formule brute	Propriétés physiques	Numéro CAS	Autre
Éthanol	Alcool éthylique	C ₂ H ₅ OH	Liquide incolore volatile d'odeur caractéristique. Miscible à l'eau et dans la plupart des solvants usuels.	64-17-5	TV à 20 °C : 5,8 Pa SPO dès 84 ppm
Formaldéhyde	Méthanal, aldéhyde formique	CH ₂ O	Gaz incolore, d'odeur piquante et suffocante. Très soluble dans l'eau et les solvants polaires (éthanol, acétone, oxyde de diéthyle)	50-00-0	Nommé formol ou formaline lorsqu'il est en solution aqueuse. TV à 25 °C : 517-519 Pa
Voir aussi Jones et Owen, 1987 ; Moore, 1999 ; Simmons, 1995 et Vallée, 2000.					

ANNEXE 2 – LISTE DE BIOCIDES. DESCRIPTIONS, CLASSIFICATIONS ET SYNONYMES

D'après Odegaard *et al*, 2005, p.15-26. Ces données concernent les Etats-Unis.

Table 2.1. Pesticide History and Characteristics

Synonyms	Early Dates	Federal Registration	Status and Dates	Method	Character	Target Pests	Field Half-Life (days)	Persistence
Acephate	1973 U.S. Patent	1973	Continued use	Spray	Colorless to white solid	Moths, larvae, roaches, biting and sucking insects	2-10	Low
Aldrin	1948 synthesis, 1953 U.S. Patent	1949	1975 restricted and most canceled, canceled 1987	Residual	White solid	Ants, soil insects, termites	10-1,237	High
Allethrin	1949 synthesis, 1956 U.S. Patent		Continued use	Spray	Pale yellow oily liquid	Flies, flying insects		Low
Ammonium fluosilicate	1936 described	1987	Canceled	Powder	Odorless crystalline powder	Mothproofers, roaches, crickets, ants, silverfish		Moderate
Arsenic trioxide, arsenous acid	1669 described, 1700s in collections	1972	1977 restricted, most canceled	Dust, paste	White powder	General insecticide, taxidermy		High
Bendiocarb	1968 U.S. Patent	1975	1992 restricted, to be canceled 2001	Fumigant	Colorless solid	Beetles, crickets, roaches, moths, silverfish, wood borers	3-21	Low-moderate
Benzene	1825 synthesis, 1940 U.S. Patent	1952	1978 restricted, most canceled	Dust	Colorless crystalline solid	Ants, roaches, crickets, silverfish, wood borers	100-1,424	High
hexachloride	1890s in collections, 1938 described	1948	Continued use	Dust	Colorless crystalline solid	Roaches, silverfish		Moderate-high
Boric acid	1907 described, 1955 U.S. Patent		1977 restricted, 1989 canceled	Granules	White powder tinted pink	Snails, slugs, pillbugs, herbicide		High
Calcium arsenate	1830s in collections, ca. 1900, described		Continued use	Fumigant	White crystalline solid	Moth repellent, ingredient in arsenical mixtures for taxidermy		Moderate
Camphor	1956 described, 1959 U.S. Patent	1963	Continued use	Dust, spray	Colorless to white solid	Ants, roaches, crickets, mites	4-22	Low-moderate
Carbaryl	1965 U.S. Patent	1979?	1991 restricted	Dust, spray	White crystalline solid	Insecticide, acaricide, nematocide	17-90	Moderate
Carbofuran	1887 in collections, 1958 described		Continued use	Fumigant, liquid	Colorless to pink solid, sweet odor	Ingredient in arsenical mixtures for taxidermy, insecticide	1-10	Low
Carbolic acid, hydroxybenzene	1881 circa	1981	1981 restricted	Fumigant	Colorless, odorless gas	Moths, beetles, general insecticide		Low
Carbon dioxide, dry ice	1854 described, 1887 in collections		Canceled	Fumigant	Colorless liquid	Moths, beetles, roaches, crickets	1-2	Low
Carbon disulfide	1927 described	1950	1985/86 canceled	Fumigant	Colorless liquid	Moths, beetles, roaches, crickets		Low
Carbon tetrachloride, perchloromethane	1945 synthesized, 1952 U.S. Patent	1978	1988 most canceled, all by 1994	Spray	Amber liquid	Beetles, crickets, roaches, ants, termites	283-3,500	High
Chlordane	1947 described, 1951 U.S. Patent	1974	1982 restricted and most canceled, all by 1994	Dust, spray	Yellow solid	Flies, roaches	9-500	Low-moderate
Chlorinated camphene	1901 described, 1933 U.S. Patent		Canceled	Fumigant, liquid crystalline solid	Off-white	Beetles, taxidermy		Low
Chlorinated naphthalene	1848 described, 1963 U.S. Patent	1979?	1998 most canceled	Fumigant	Colorless oily liquid	Moths, beetles, roaches	4-139	Low-moderate
Chloropicrin								(continued)

Table 2.1. (continued)

Synonyms	Early Dates	Federal Registration	Status and Dates	Method	Character	Target Pests	Field Half-Life (days)	Persistence
Chlorpyrifos	1964 U.S. Patent	1965	1997 most canceled, most all by 2001	Dust, spray	Amber to white crystalline solid	Beetles, crickets, moths, flies, silverfish, roaches, wood borers	30.5	Low-moderate
Copper acetoarsenite	1867 described, 1939 U.S. Patent		1977 canceled	Dust	White solid tinted green	Ants, dry wood termites		High
Cryolite	1929 described	1957	Restricted	Dust, spray	White solid	General insecticide	3,000	High
Cyfluthrin	1987	1987	Restricted and general use	Spray	Pasty yellow mass	Roaches, silverfish, beetles	4-90	Low-moderate
Derris, cube	1924 described		Restricted	Dust, spray	Colorless crystalline solid	Roaches, flies	1-3	Low
Diazinon	1953 described, 1956 U.S. Patent		1988 restricted, to be canceled 2001-2004	Dust, spray	Colorless to brown liquid	Beetles, roaches, crickets, moths, silverfish, ants	2.8-13	Low-moderate
(DDT) Dichloro diphenyl trichlorethane (DDVP) Dichlorvos	1942 described, 1944 U.S. Patent	1952	1973 canceled insecticide	Dust, spray	White powder	Mothproofers, general	2-15 years	High
	1960 U.S. Patent	1948	1995 restricted	Fumigant	Liquid	Moths, beetles, roaches, crickets, silverfish, ants	0.08-0.33	Low
Dieldrin	1948 described, 1954 U.S. Patent	1948	1975 restricted, 1986 canceled	Dust, spray	White solid	Mothproofers, termites, ants	225-1,260	High
Dithiocarbamate	1943 described, 1954 U.S. Patent		1989 canceled	Dust, spray	Light-colored	Fungicide	23-43	Low-moderate
Edolan-U	1974		1988 canceled	Spray, dip-soak	Liquid	Mothproofers		High
Endosulfan	1956 described, 1961 U.S. Patent		1975-1980, most canceled	Spray, smoke tablets	Colorless crystalline solid	General insecticide/acaricide	4-200	Moderate-high
Endrin	1951 described, 1954 U.S. Patent	1954	1979 restricted, 1984 canceled	Dust, spray	Crystalline solid	Rodenticide	224-4,300	High
Ethylan	1955 U.S. Patent		1980 restricted, most canceled	Spray	Crystalline solid	Mothproofers, beetles, ants, flies		Moderate
Ethylene dibromide	ca. 1956	1956	1984 canceled	Fumigant	Colorless liquid	Termites, beetles	28-180	Moderate
Ethylene dichloride	1918 described	1950	1986 canceled	Fumigant	Gas	Moths, beetles, roaches, crickets		Low
Ethyl formate, formic acid ethyl ester	1670 described		1980s restricted, most canceled 1999	Fumigant	Gas	Fungicide		
Ethylene oxide	1859 described, 1960 U.S. Patent	1957	1984 restricted	Fumigant	Colorless gas, ether odor	Moths, beetles, roaches, crickets, wood borers, sterilant		High
Formaldehyde, formalin	1890s in collections, 1957 U.S. Patent for gas	1948	Continued use	Spray	Colorless liquid or fumigant	Fungicide, fumigant insecticide gas with odor		
Heptachlor	1949 described, 1951 U.S. Patent	1952	1988 canceled	Dust, spray	White crystalline solid	Termites, ants, roaches	40-2,000	High
Hydrogen cyanide, hydrocyanic acid	1877 described		1989 canceled	Fumigant	Colorless gas	Moths, beetles, roaches, crickets, rodents		Low
Kerosene	1944 described		Canceled	Spray	Yellow to clear oily liquid	Inert ingredient/ carrier in some insecticidal sprays		Low
Lead arsenate	1892 described		1977 restricted, most canceled 1987	Dust	White powder	General insecticide, taxidermy, termites		High
Malathion	1949 described, 1951 U.S. Patent	1950	Continued use	Dust, spray	Clear liquid	Moths, beetles, roaches, crickets, ants, silverfish	0.2-25	Low-moderate

(continued)

Table 2.1. (continued)

Synonyms	Early Dates	Federal Registration	Status and Dates	Method	Character	Target Pests	Field Half-Life (days)	Persistence
Resmethrin	1967/68		Continued use	Dust, spray	Not UV stable, off-white to tan solid	Moths, beetles, roaches, silverfish, spiders, ants	30	Low-moderate
Ryania	1945 described, 1946 U.S. Patent ca. 1948	1968	1997 canceled	Dust	Ground stem	Roaches		Low
Sabadilla			Continued use (though minor)	Dust	Ground seeds	Beetles		
Silica gel	ca. 1974	1956	Continued use	Dust	White powder	Roaches, crickets, silverfish		High
Sodium arsenite, arsenous acid	ca. 1951		1978 most canceled, all by 1989	Spray	White powder	Ants, insect baits, termites, herbicide		High
Sodium fluoride	1928 described		Continued use	Dust	White powder tinted blue or green	Roaches, silverfish, ants		Moderate
Sodium fluoroacetate	1896 synthesized, 1945 U.S. Patent ca. 1911	1947	1972 most canceled and restricted	Liquid	Colorless solid	Rodenticide, predacide		Moderate
Sodium fluosilicate			1987 canceled	Dust, spray	White powder tinted blue	Mothproofers, clothes moth, earwigs, crickets		Moderate
Strychnine	1925 U.S. Patent	1947	1983 restricted, most canceled 1999	Solid, bait	Ground seeds, white powder	Rodenticide		Low-moderate
Sulfur dioxide, sulfuric anhydride	1906 described		Continued use	Fumigant	Gas	General insecticide		Low
Sulfuryl fluoride	1957 described	1959	1998 restricted and most canceled	Fumigant	Colorless, odorless gas	Moths, beetles, roaches, crickets, silverfish, wood borers		Low-moderate
(TEPP) Tetraethyl pyrophosphate	1946 described, 1947 U.S. Patent		1988 canceled	Spray	Colorless liquid	General insecticide		Moderate
Tetramethrin	1965 U.S. Patent		Continued use	Dust, spray	Colorless crystalline powder with odor	Moths, beetles, roaches, crickets, silverfish, spiders		Low-moderate
Thallium sulfate	1930 circa described		1972 canceled	Dust/spray	White powder tinted blue or green	Rodenticide, ants		High
Thymol	1719 isolated, 1958 U.S. Patent		Continued use	Fumigant	White crystalline solid	Fungicide, repellent		Low-moderate
Trichloroethylene	1946 U.S. Patent	1949	1985 canceled	Spray	Liquid, chloroform smelling	Inert insecticide ingredient, dry-cleaning fluid, solvent		Low-moderate
Warfarin	1947 U.S. Patent	1952	Continued use	Bait/granules	White powder, liquid	Rodenticide		N/A
Zinc hexafluorosilicate	ca. 1950		Canceled 1987	Flakes, spray	White crystalline solid	Mothproofers		Moderate-high
Zinc phosphide	1947 described	1947	1989 restricted, most canceled	Bait/granules	Black to gray powder	Rodenticide		Moderate

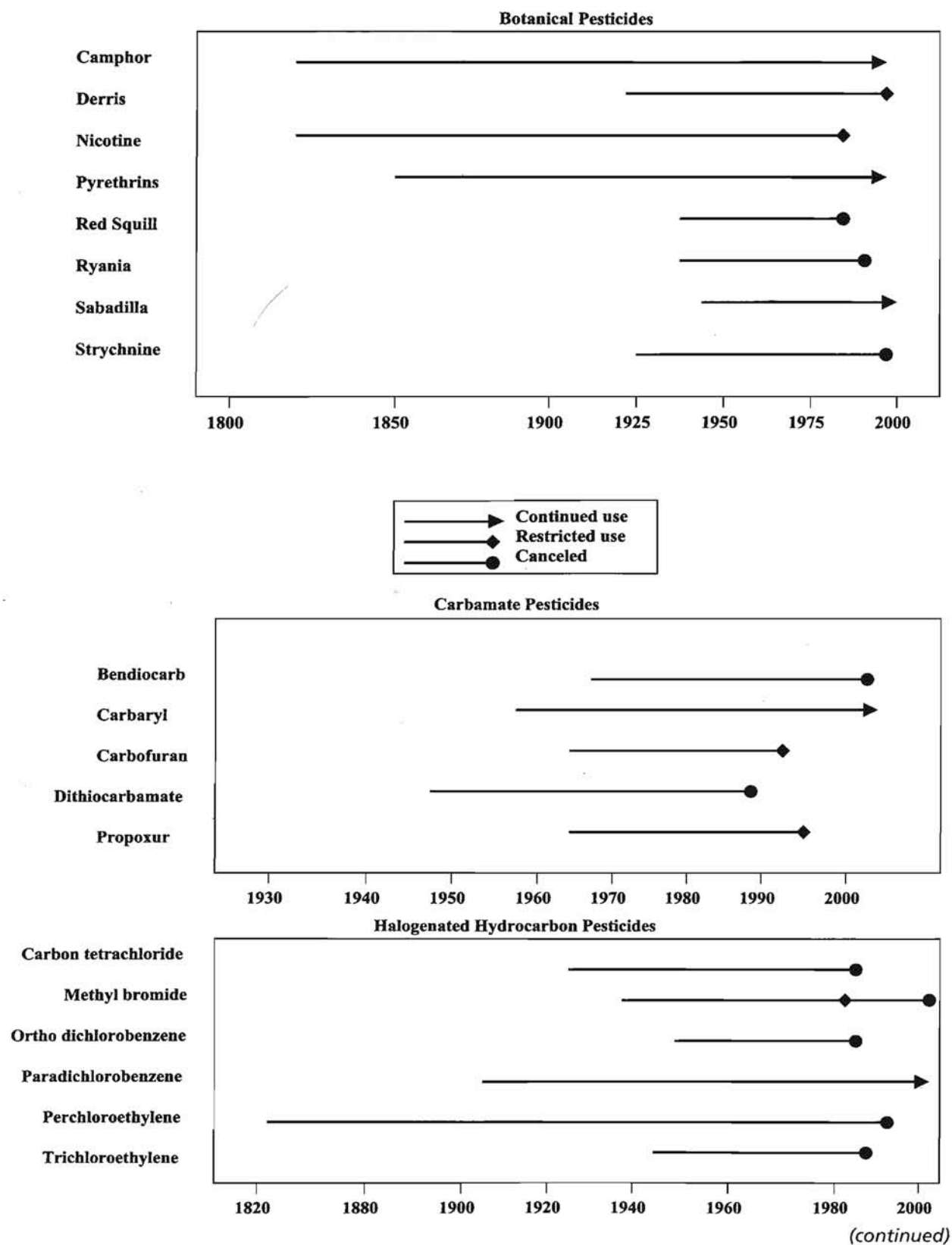
Table 2.2. Pesticide Use by Classification

Table 2.2. (continued)

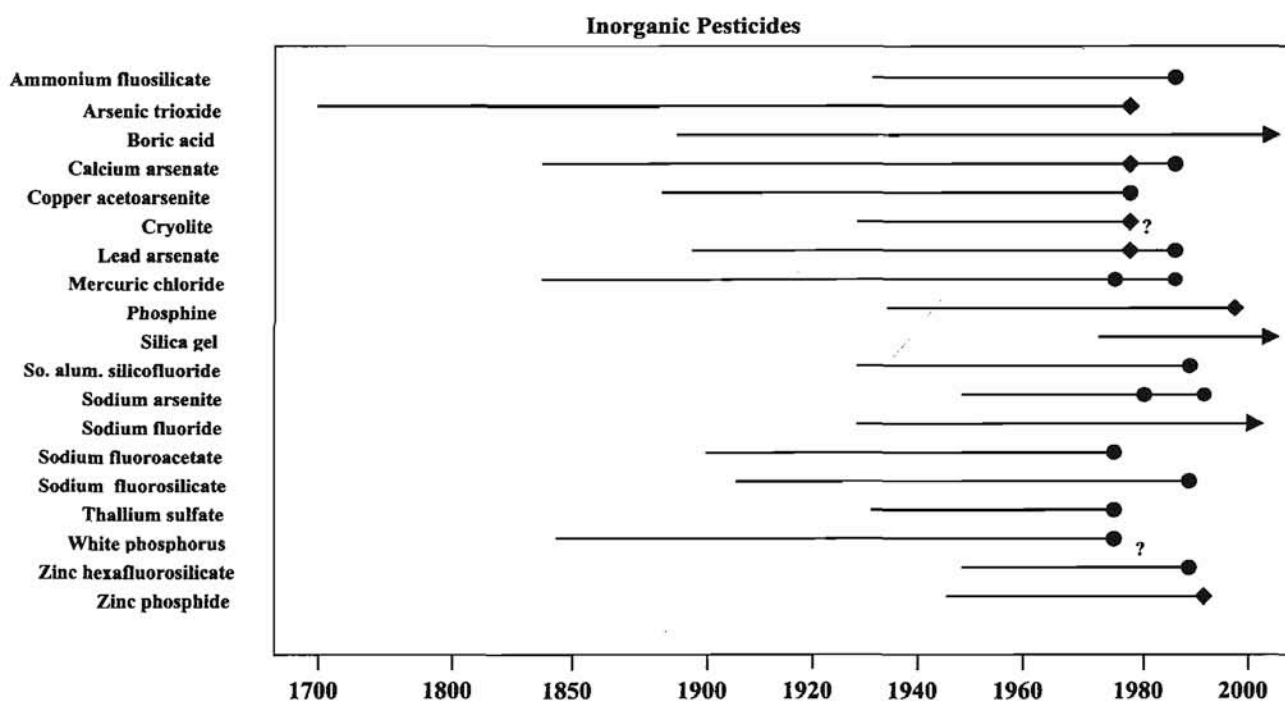
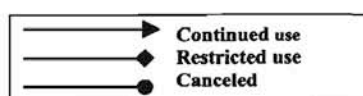
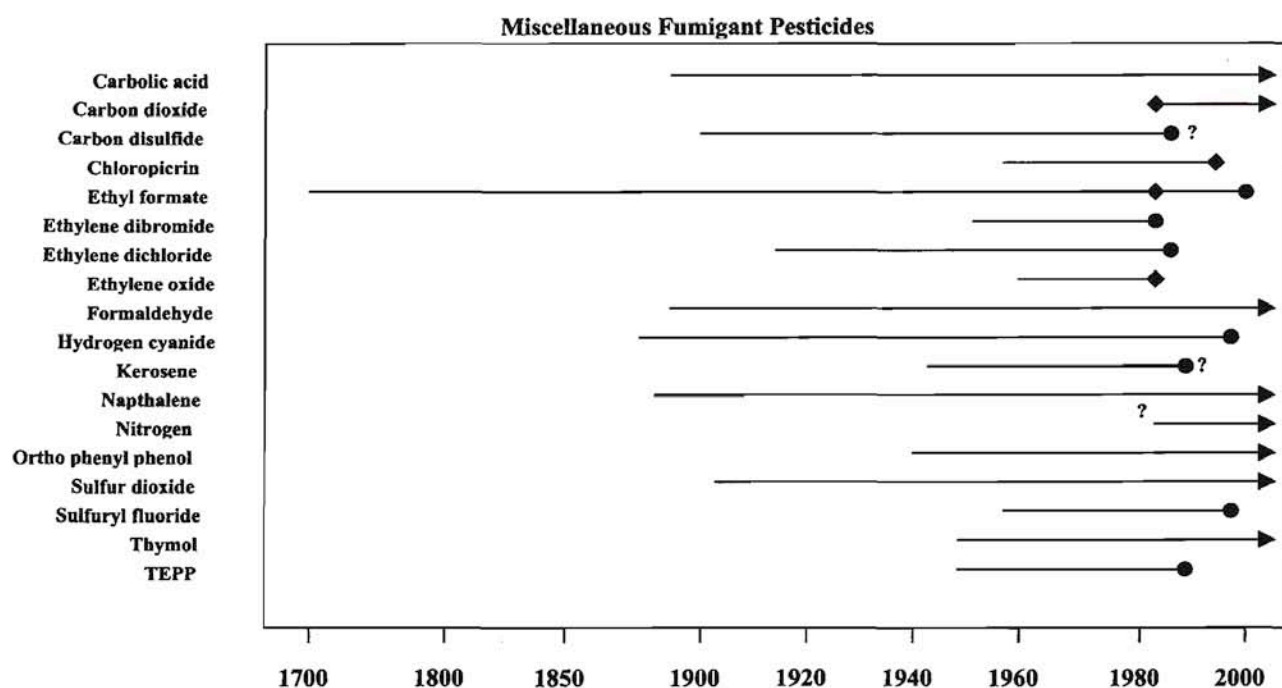


Table 2.2. (continued)

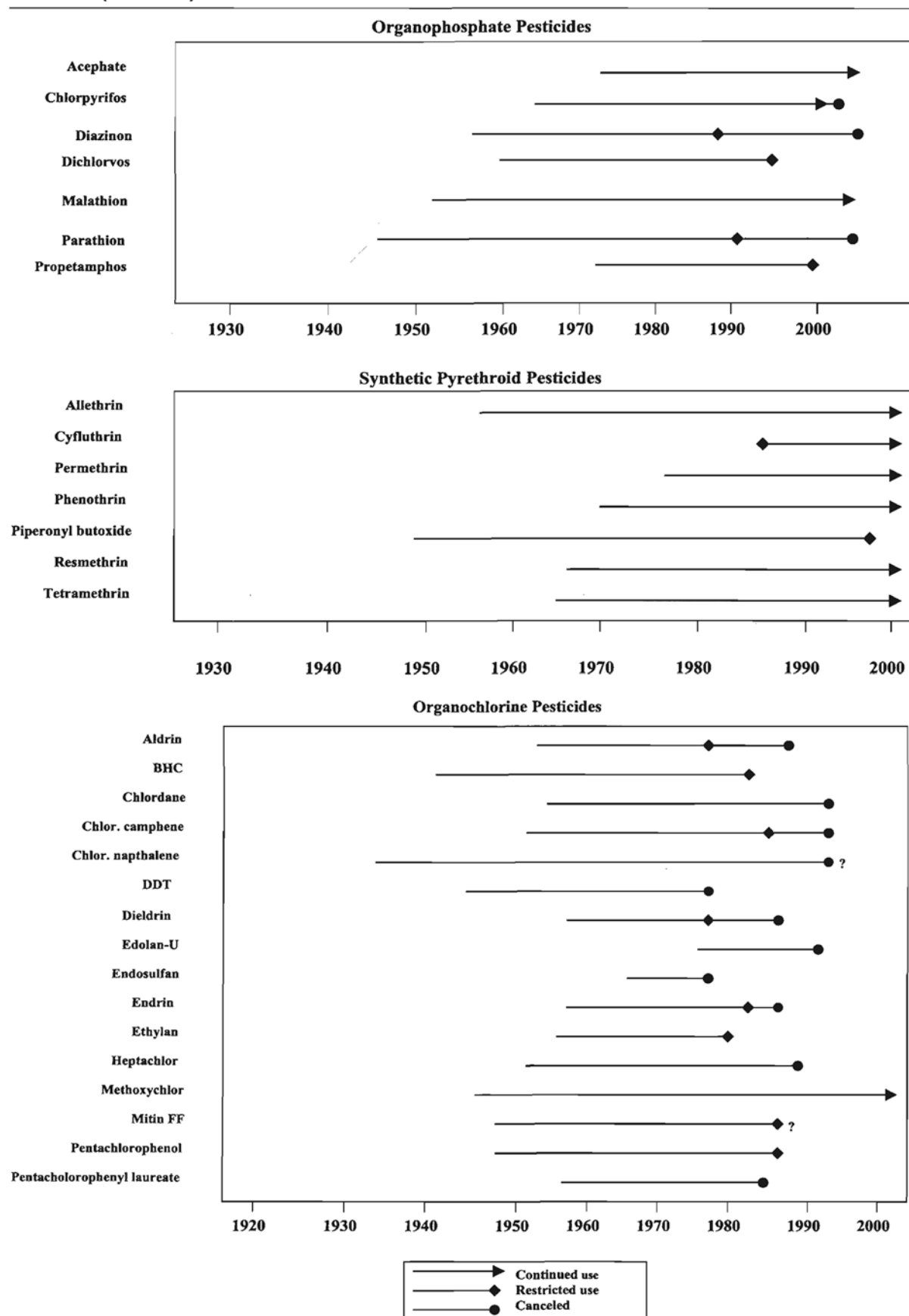


Table 2.3. Pesticide Names and Classifications

<i>Common Name</i>	<i>Chemical Class</i>	<i>Chemical Formula</i>	<i>CAS #</i>
Acephate	Organophosphorus	$C_4H_{10}NO_3PS$	30560-19-1
Aldrin	Organochlorine	$C_{12}H_8Cl_6$	309-00-2
Allethrin	Synthetic pyrethroid	$C_{19}H_{26}O_3$	584-79-2
Ammonium fluosilicate	Inorganic	NH_4SiF_6	16919-19-0
Arsenic trioxide, arsenous acid	Inorganic	As_2O_3	1327-53-3
Bendiocarb	Carbamate	$C_{11}H_{13}NO_4$	22781-23-3
Benzene hexachloride	Organochlorine	$C_6H_6Cl_6$	58-89-9
Boric acid	Inorganic	$B(OH)_3$	10043-35-3
Calcium arsenate	Inorganic	$As_2Ca_3O_8$	7778-44-1
Camphor	Botanical	$C_{10}H_{16}O$	76-22-2
Carbaryl	Carbamate	$C_{12}H_{11}NO_2$	63-25-2
Carbofuran	Carbamate	$C_{12}H_{15}NO_3$	1563-66-2
Carbolic acid, hydroxybenzene	Phenol	C_6H_6O	108-95-2
Carbon dioxide, dry ice	Inert gas	CO_2	124-38-9
Carbon disulfide	Misc. fumigant	CS_2	75-15-0
Carbon tetrachloride, perchloromethane	Organochlorine	CCl_4	56-23-5
Chlordane	Organochlorine	$C_{10}H_6Cl_8$	57-74-9
Chlorinated camphene	Organochlorine	$C_{10}H_{10}Cl_8$	8001-35-2
Chlorinated naphthalene	Organochlorine	$C_{10}H_7Cl$	91-58-7
Chloropicrin	Misc. fumigant	CCl_3NO_2	76-06-2
Chlorpyrifos	Organophosphorus	$C_9H_{11}Cl_3NO_3PS$	2921-88-2
Copper acetoarsenite	Inorganic	$C_4H_6As_6Cu_4O_{16}$	12002-03-8
Cryolite	Inorganic	AlF_6Na_3	15096-52-3
Cyfluthrin	Synthetic pyrethroid	$C_{22}H_{18}Cl_2FNO_3$	68359-37-5
Derris, Cube	Botanical	$C_{23}H_{22}O_6$	83-79-4
Diazinon	Organophosphorus	$C_{12}H_{21}N_2O_3PS$	333-41-5
(DDT) Dichloro diphenyl trichlorethane	Organochlorine	$C_{14}H_9Cl_5$	50-29-3
(DDVP) Dichlorvos	Organophosphorus	$C_4H_7Cl_2O_4P$	62-73-7
Dieldrin	Organochlorine	$C_{12}H_8Cl_6O$	60-57-1
Dithiocarbamate	Carbamate	$C_4H_6N_2S_4Zn$	12122-67-7
Edolan-U	Organochlorine	$C_{13}H_6Cl_6NNaO_3S$	69462-14-2
Endosulfan	Organochlorine	$C_9H_6Cl_6O_3S$	115-29-7
Endrin	Organochlorine	$C_{12}H_8Cl_6O$	72-20-8
Ethylan	Organochlorine	$C_{18}H_{20}Cl_2$	72-56-0
Ethylene dibromide	Misc. fumigant	$C_2H_4Br_2$	106-93-4
Ethylene dichloride	Misc. fumigant	$C_2H_4Cl_2$	107-06-2
Ethyl formate, formic acid ethyl ester	Misc. fumigant	$C_3H_6O_2$	109-94-4
Ethylene oxide	Misc. fumigant	C_2H_4O	75-21-8
Formaldehyde, formalin	Misc. fumigant	CH_2O	50-00-0
Heptachlor	Organochlorine	$C_{10}H_5Cl_7$	76-44-8
Hydrogen cyanide, hydrocyanic acid	Misc. fumigant	CHN	74-90-8
Kerosene	Petroleum distillate	$C_{10}-C_{16}$ hydrocarbons	8008-20-6
Lead arsenate	Inorganic	$As_2O_8Pb_3$	7784-40-9
Malathion	Organophosphorus	$C_{10}H_{19}O_6PS_2$	121-75-5
Mercuric chloride	Inorganic	$HgCl_2$	7487-94-7
Methoxychlor	Organochlorine	$C_{16}H_{15}Cl_3O_2$	72-43-5
Methyl bromide	Halogenated hydrocarbon	CH_3Br	74-83-9
Mitin FF	Organochlorine	$C_{19}H_{12}Cl_4N_2O_5S$	3567-25-7
Naphthalene, white tar	Simple hydrocarbon	$C_{10}H_8$	91-20-3
Nicotine	Botanical	$C_{10}H_{14}N_2$	54-11-5
Nitrogen	Inert gas	N_2	7727-37-9
Ortho dichlorobenzene	Halogenated hydrocarbon	$C_6H_4Cl_2$	95-50-1
Ortho phenyl phenol	Phenol	$C_{12}H_{10}O$	90-43-7
Paradichlorobenzene	Halogenated hydrocarbon	$C_6H_4Cl_2$	106-46-7
Parathion	Organophosphorus	$C_{10}H_{14}NO_5PS$	56-38-2
Pentachlorophenol	Organochlorine	C_6HCl_5O	87-86-5
(LPCP) Pentachlorophenyl laureate	Organochlorine	$C_{18}H_{23}O_3$	3772-94-9
Perchloroethylene	Halogenated hydrocarbon	C_2Cl_4	127-18-4
Permethrin	Synthetic pyrethroid	$C_{21}H_{20}Cl_2O_3$	52645-53-1
Phenothrin	Synthetic pyrethroid	$C_{23}H_{26}O_3$	26002-80-2

Table 2.3. (continued)

<i>Common Name</i>	<i>Chemical Class</i>	<i>Chemical Formula</i>	<i>CAS #</i>
Phosphine	Inorganic	H ₃ P	7803-51-2
Phosphorus, white	Inorganic	P	7723-14-0
Piperonyl butoxide	Synthetic pyrethroid	C ₁₉ H ₃₀ O ₅	51-03-6
Propargite	Organosulfite	C ₁₉ H ₂₆ O ₄ S	2312-35-8
Propetamphos	Organophosphorus	C ₁₀ H ₂₀ NO ₄ PS	31218-83-4
Propoxur	Carbamate	C ₁₁ H ₁₅ NO ₃	114-26-1
Pyrethrins	Botanical	(I) C ₂₁ H ₂₈ O ₃ ; (II) C ₂₂ H ₂₈ O ₅	8003-34-7
Red Squill	Botanical	Natural product	507-60-8
Resmethrin	Synthetic pyrethroid	C ₂₂ H ₂₆ O ₃	10453-86-8
Ryania	Botanical	Natural product extract	15662-33-6
Sabadilla	Botanical	Natural product extract	8051-02-3
Silica gel	Inorganic	SiO ₂ amorphous	63231-67-4
Sodium arsenite, arsenous acid	Inorganic	NaAsO ₂	7784-46-5
Sodium fluoride	Inorganic	NaF	7681-49-4
Sodium fluoroacetate	Inorganic	C ₂ H ₂ FNaO ₂	62-74-8
Sodium fluosilicate	Inorganic	F ₆ Na ₂ Si	16893-85-9
Strychnine	Botanical	C ₂₁ H ₂₂ N ₂ O ₂	57-24-9
Sulfur dioxide, sulfurous anhydride	Misc. fumigant	SO ₂	7446-09-5
Sulfuryl fluoride	Inorganic fumigant	F ₂ O ₂ S	2699-79-8
(TEPP) Tetraethyl pyrophosphate	Misc. fumigant	C ₈ H ₂₀ O ₇ P ₂	107-49-3
Tetramethrin	Synthetic pyrethroid	C ₁₉ H ₂₅ NO ₄	7696-12-0
Thallium sulfate	Inorganic	O ₄ STl ₂	7446-18-6
Thymol	Phenol	C ₁₀ H ₁₄ O	89-83-8
Trichloroethylene	Halogenated hydrocarbon	C ₂ HCl ₃	79-01-6
Warfarin	Coumarin	C ₁₉ H ₁₆ O ₄	81-81-2
Zinc hexafluorosilicate	Inorganic	Zn(SiF ₆)	16871-71-9
Zinc phosphide	Inorganic	P ₂ Zn ₃	1314-84-7

ANNEXE 3 – TESTS MICROCHIMIQUES

Protocoles de tests pour identifier l'arsenic

D'après Péquignot *et al*, 2006, p.7.

Test de Weber-Gutzeit

Fournitures

Éprouvettes de petit format (2 ml)
 Pipettes jetables
 Cotons-tiges
 Brucelles
 Papier filtre coupé en languette de la largeur de l'éprouvette de longueur 3 à 4 cm
 Spatule
 Coton
 Petites fioles
 Parafilm™

Réactifs chimiques

Chlorure cuivreux CuCl
 Zinc en poudre (sans arsenic)
 Hydroxyde de potassium KOH 1M
 Acide chlorhydrique HCl 3M
 Nitrate d'argent AgNO₃ 0.1N
 Eau distillée

Méthode

- 1° Préparation de la solution de chlorure cuivreux : dans une petite fiole, ajouter une pointe de spatule de chlorure cuivreux dans 5 ml d'eau distillée. Agiter.
- 2° Mettre quelques spatules de poussière de zinc dans l'éprouvette.
- 3° Prélever l'échantillon en roulant un coton-tige humidifié d'eau distillée sur l'objet à tester. Extraire le coton au moyen de brucelles et l'introduire dans l'éprouvette. Additionner 1 à 2 gouttes de KOH (1M) pour dissoudre l'échantillon.
- 4° Ajouter des gouttes de HCl (3M) jusqu'à ce que débute l'effervescence.
- 5° Très rapidement mettre un léger morceau de coton à la moitié du tube imbibé de 2 ou 3 gouttes de la solution de CuCl.
- 6° Placer le filtre de papier imprégné de solution de AgNO₃ (0.1N) en prenant garde de ne pas le mettre en contact avec la solution et fermer hermétiquement l'éprouvette au moyen du film Parafilm™.
- 7° L'arsenic est indiqué par l'apparition d'une coloration variant du jaune au marron selon la concentration présente.

NB :

- Il est nécessaire de préparer une solution fraîche de chlorure cuivreux à chaque fois que l'on démarre une série de test.
- L'hydroxyde de potassium est utilisé pour amener l'arsenic en solution.
- Le chlorure de cuivre présent sur le coton réagit avec l'antimoine (Sb), la phosphine (Ph₃) et le sulfure d'hydrogène (H₂S) ; la présence de ces substances interférerait avec le résultat du test.

Test de Macherey-Nagel

Réaction

$$\text{Zn (s)} + 2\text{HCl (aq)} \rightarrow 2\text{H}^+ \text{ (g)} + \text{ZnCl}_2 \text{ (aq)}$$

$$\text{As}^{3+} \text{ (aq)} + 3\text{H}^+ \rightarrow \text{AsH}_3 \text{ (g)}$$

$$\text{AsH}_3 + \text{HgBr}_2 \text{ (aq)} \rightarrow \text{As (HgBr)}_3 \text{ (aq)} + \text{HBr}$$

(jaune à marron)

Fournitures

Tube à essai (20 ml)
 Erlenmeyer (50 ml)
 Pipettes jetables
 Cotons-tiges
 Brucelles
 Spatule
 Parafilm™

Réactifs chimiques

Arsenic Test Paper [Macherey-Nagel] : toxique
 Zinc en poudre (sans arsenic)
 Acide chlorhydrique HCl
 Eau distillée

Méthode

- 1° Rouler des cotons-tiges imbibés d'eau distillée sur différentes parties du spécimen.
- 2° Le coton doit être coupé, et haché dans un Erlenmeyer contenant 25 ml d'eau distillée.
- 3° Après une heure, prélever 5 ml de cette solution dans un tube.
- 4° Ajouter de la poudre de zinc, puis 10 gouttes d'acide chlorhydrique.
- 5° Rapidement, insérer le papier test en prenant garde de ne pas le mettre en contact avec la solution et fermer hermétiquement le tube au moyen du film de Parafilm™.
- 6° Attendre 30 minutes pour la lecture.

Recommandations :

- Il est nécessaire de porter des gants, un masque anti-poussière et des vêtements de protection pour manipuler les objets et lors des tests.
- L'arsine émanant des réactions est un gaz très toxique et ne doit pas être inhalé. Il est donc obligatoire de travailler sous hotte aspirante lors des tests.
- Le matériel utilisé lors des tests doit être jeté dans un container labellisé « Arsenic »/« Déchet toxique ». La vaisselle doit être rincée à l'eau courante et les eaux de lavage doivent être récupérées dans un container labellisé « Arsenic »/« Déchet toxique ». Une petite quantité d'isopropanol ou de propanol doit être utilisée pour le rinçage final.

Le test de Weber-Gutzeit consiste à faire réagir l'arsenic avec l'hydrogène produit par réaction entre du zinc et de l'acide chlorhydrique. Au contact de l'hydrogène, l'arsenic est réduit en arsine, un gaz incolore et inodore extrêmement dangereux. Celui-ci est alors exposé à un papier imprégné d'une solution de nitrate d'argent qui réagit et se colore du jaune au marron en fonction de la concentration d'arsenic présente⁵²⁹.

Le test de Macherey-Nagel, vendu sous forme de kit, consiste à extraire l'arsenic avec de l'eau distillée, puis réduire la solution avec du zinc et de l'acide chlorhydrique. L'arsine qui s'en dégage réagit lorsqu'on l'expose à un papier imprégné de bromure mercurique et se colore du jaune citron au brun⁵³⁰.

Ces deux tests ont une limite de détection autour de 20 ppm, soit 20 mg/l⁵³¹. L'étude de Found et Helwig (1995) démontre que le test de Weber-Gutzeit est fiable à 87 % (dont 8 % de faux résultats positifs et 5 % de faux négatifs) par comparaison à des analyses SEM-EDS sur une soixantaine de mammifères et d'oiseaux analysés, ainsi que sur des échantillons de plumes et de peau.

Ce test est plus rapide à mettre en oeuvre que celui de Macherey-Nagel, mais implique plus de manipulations chimiques puisque les réactifs doivent être frais. A.M. Knapp (2000, p.3) suggère, pour ce dernier, de dissoudre l'arsenic avec de l'hydroxyde de potassium afin d'éviter l'attente après cette première étape.

Enfin, ce type de test n'est pas adapté pour l'identification d'arsenic sur les spécimens et planches d'herbiers qui présentent généralement très peu de résidus de surfaciques par comparaison aux spécimens zoologiques⁵³².

⁵²⁹ Péquignot *et al*, 2006, p.6-8.

⁵³⁰ Odegaard *et al*, 2005, p.58 ; Péquignot *et al*, 2006, p.6-8.

⁵³¹ Péquignot *et al*, 2006, p.6-8. Voir aussi Marte *et al*, 2006 concernant l'étude de la limite de détection de ces tests.

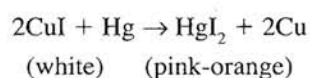
⁵³² Purewal, 2001, p.79. Cette étude indique que le test de Weber-Gutzeit apportait des résultats négatifs alors que des méthodes d'analyses plus sensibles démontraient la présence de cet élément.

Protocole de test pour l'identification de vapeurs de mercure

D'après Odegaard *et al*, 2005, p.64.

Purpose: To determine the presence of elemental mercury vapor that may accumulate with closed storage container or cabinets.

Principle: Elemental mercury vapor, formed by the dissociation of mercuric compounds such as mercuric chloride, is detected by a thin film of mercury indicator powder (white). Free mercury reacts with cuprous iodide to form a visual color change to orange:



In addition to cuprous iodide, the mercury indicator powders typically contain sulfur, silica, and starch. The additional additives are absorbents and not reactive.

Equipment: Glass microscope slide, watch glass, nylon artist brush.

Reagents and Safety: Mercury indicating powder [J. T. Baker®] is an irritant and has a moderate health rating. Ethyl alcohol (EtOH) is an irritant and has a slight health rating. Mercury compounds are highly toxic irritants and mutagens and have an extreme (poison) health rating.

Test Source: S. Kaye, 1994, A rapid and specific method of the detection and estimation of mercury, bismuth, and arsenic in body fluids, *American Journal of Clinical Pathology* 14(7) :83–85, and K. Makos and G. Burroughs, 2002, (Managing occupational exposure to mercury vapor from museum collections, in *Abstracts of the American Industrial Hygiene Association Conference and Exposition [AIHAce]*—San Diego, CA, Platform (PF) 117, Community Environmental Health and Safety Issues and Social Concerns Paper 124, <http://www.aiha.org/abs02/pf117.htm>.

Reagent Preparation: For mercury indicator powder, prepare the slurry using ~1.5 g of powder and 2 mL of distilled water.

Sampling Method: Ambient concentrations of mercury vapor are detected within a closed container or cabinet. Place slurry on a glass microscope slide or glass coverslip with a brush. Allow to dry.

Procedure:

FOR TESTING STORAGE SPACE

1. Place slides into closed containers or cabinets where conditions are to be tested. Keep one slide separate as a known negative standard.
2. After several days (seven has been recommended), compare the slide with an unexposed slide.

FOR TESTING SAMPLES TAKEN FROM OBJECTS

1. Dampen a cotton swab with water. Then gently roll the swab over the test area on the object to collect sample for testing.
2. Place swab into a small sealed container with a prepared microscope slide or coverslip. Keep one slide separate as a known negative standard.
3. After several days (seven has been recommended), compare the slide with an unexposed slide.

What to Look For: If mercury iodide has formed, there will be a color change. In a 1.2-L container, 0.01 g of mercuric chloride produced a pink-orange color change in two days.

Disposal: Consult your local government (fire or waste disposal departments) for information on hazardous materials disposal requirements and available assistance.

En raison de la volatilité du chlorure mercurique, généralement utilisé comme biocide dans les *naturalia*, le test de Baker a été mis en place pour identifier le mercure à son état gazeux. D'autres tests permettant de mettre en évidence ce composé sous forme solide ce sont montrés inefficaces dans ce type de collections. Il n'a pas été établi si le test de Baker permet d'identifier les biocides à base de mercure contenus dans les peintures industrielles⁵³³.

Bibliographie complémentaire

Pour d'autres tests microchimiques, on consultera :

- Feigl, Fritz *et al.* *Spot Tests in Inorganic Analysis*. Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1972.
- Schramm, Hans-Peter et Hering, Bernd. *Historische Malmaterialien und ihre Identifizierung*. E. E. Seemann, Leipzig, 1999.
- Odegaard, Nancy *et al.* *Material Characterization Tests for Objects of Art and Archaeology*. Archetype, London, 2005 : 2^e édition [2000].

Pour la détection et/ou l'estimation du formol et des alcools servant à la préservation des spécimens en fluides, on consultera :

Monick, John A. *Alcohols : Their Chemistry, Properties and Manufacture*. Reinhold Book Corporation, New York, 1968.

Moore, Simon. Fluid preservation. In Carter, David et Walker, Annette K. *Care and Conservation of Natural History Collections*. Butterworth-Heinemann, Oxford, 1999, p.100-101.

Steedman, H. F. General and Applied Data on Formaldehyde Fixation and Preservation of Marine Zooplankton. In Steedman, H. F. (ed.). *Zooplankton Fixation and Preservation*. Monographs on Oceanographic Methodology 4. The Unesco Press, Paris, 1976, p.103-156.

Walker, J. F. *Formaldehyde*. 3rd ed. American Chemical Society Monograph Series. Reinhold Publishing Company, New York, 1964.

Waller, Robert et McAllister, Don E. A Spot Test for Distinguishing Formalin from Alcohol Solutions. In Waddington, J. et Rudkin, D. M. (ed.). *Proceedings of the 1985 Workshop on the Care and Maintenance of Natural History Collections*. Life Sciences Miscellaneous Publications, Royal Ontario Museum, Toronto, 1986, p.93-99.

⁵³³ Found et Helwig, 1995 ; Odegaard, 2005, p.54.

ANNEXE 4 – LISTE D'ORGANISMES RELATIFS A LA TOXICOLOGIE, LA SECURITE ET L'HYGIENE INDUSTRIELLE

- Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'environnement et du travail (AFSSET)
<http://www.afsse.fr/>
- Agency for Toxic Substances & Disease Registry (ATDSR), Etats-Unis
<http://www.atsdr.cdc.gov/>
- Centre international d'informations de sécurité et de santé au travail (CIS) géré par l'Organisation Internationale du Travail (OIT)
<http://www.ilo.org/public/french/protection/safework/cis/index.htm>
- Commission de la Santé et de la Sécurité du Travail (CSST), Québec
<http://www.csst.qc.ca/portail/fr/>
- Service du répertoire toxicologique du CSST
www.reptox.csst.qc.ca/
- Environmental Protection Agency (EPA), Etats-Unis
<http://www.epa.gov/>
- Institut National français de l'Environnement Industriel et des Risques
<http://www.ineris.fr/>
- Institut National français de Recherche et de Sécurité (INRS)
<http://www.inrs.fr/>
- Institut universitaire romand de Santé au Travail (IST), Suisse
<http://www.i-s-t.ch/>
- Suva (Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents ou Schweizerische UnfallversicherungsAnstalt)
<http://www.suva.ch/fr/>
- The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Etats-Unis
<http://www.cdc.gov/NIOSH/>

- Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHA), Etats-Unis
<http://oehha.ca.gov/>
- Occupational Safety & Health (OSHA), Etats-Unis
<http://www.osha.gov/index.html>
- Toxicology Data Network TOXNET (National Library of Medicine), Etats-Unis
<http://toxnet.nlm.nih.gov/>
- World Health Organization (WHO)
<http://www.who.int/en/>

Pour compléter cette liste, on se référera, entre autres, à Hawks et Makos (2001) et Picot *et al* (1992, p.353-366).

ANNEXE 5 – SPECIMENS PEDAGOGIQUES

Au vu de la présence d'arsenic et autres composés toxiques dans les collections d'histoire naturelle, certains muséums de France, comme le Muséum national d'histoire naturelle de Paris et le Muséum – Jardin des Sciences de Dijon, ont pris la décision de naturaliser des spécimens pédagogiques ne présentant pas de risques pour la santé.

Ces montages sont gérés indépendamment des collections – on parle d'ailleurs de « matériel pédagogique » et non pas de « collection pédagogique » – et conservés dans des lieux distincts pour éviter tout risque de contamination par des poussières.

Ils sont employés dans le cadre d'animations avec le public et plus particulièrement avec des enfants pour des découvertes tactiles.



Chouette effraie naturalisée par H. Martin et utilisée lors d'une animation tactile au MJSD.

Au MNHN, le rythme d'utilisation correspond à une centaine de fois par année et leur « durée de vie » est estimée à cinq ans environ, pour autant qu'un entretien et des réparations régulières (annuelles) soient effectuées⁵³⁴. Au vu des méthodes de préparation des peaux, les oiseaux sont certainement plus délicats – du moins plus sensibles aux variations climatiques – que les mammifères. En effet, contrairement aux seconds, en raison de la finesse de leur peau, ils ne sont pas tannés et les produits utilisés sont réversibles⁵³⁵.

⁵³⁴ Gottini, 25.1.2008, *communication orale*.

⁵³⁵ Martin, 2008, p.14, *non publié*.

Concernant les techniques de taxidermie, on se référera au travail d'H. Martin (2008, *non publié*) dans lequel les modes opératoires successifs sont largement détaillés. Relevons simplement que ces méthodes s'apparentent à celles déjà utilisées dès les origines de cet art⁵³⁶.

Parmi les produits utilisés, après dégraissage⁵³⁷, la peau et le plumage des oiseaux sont traités à l'aide de borax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$), agent dessicant et absorbant, et d'alun de potassium [$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$], substance astringente⁵³⁸. Les mammifères subissent un picklage⁵³⁹ sous forme de bain⁵⁴⁰ de Decaltal N® (acides aromatiques et inorganiques) durant 24h, puis un tannage par immersion dans du Lutan F® (sel complexe à base d'aluminium) durant quelques jours. Rinçage, neutralisation et lavage sont ensuite mis en œuvre avec de l'eau et du bicarbonate de sodium (NaHCO_3)⁵⁴¹.

Sans être exhaustif, les matériaux utilisés sont les suivants : fils de fer, fibre de bois, filasse de chanvre, fils de lin, de coton et synthétiques, résine époxy et pâte à modeler⁵⁴².

Ainsi, la composition exacte de ces montages est connue. Bien qu'il ne soit pas possible de démontrer l'innocuité totale d'un produit, l'expérience des taxidermistes et quelques mentions dans la littérature spécialisée indiquent que ces préservatifs et agents tannants semblent peu dangereux⁵⁴³.

⁵³⁶ Au sujet de l'histoire de la taxidermie, on lira notamment Cuisin, 2004 ; Péquignot, 2002 ; Vallée, 2000.

⁵³⁷ Utilisation d'Actol NFL® par immersion de 15 minutes, puis rinçage à l'eau.

⁵³⁸ Hendry, 1999, p.3-4 ; Martin, 2008, p.5, 14 et 16, *non publié*.

⁵³⁹ Opération préliminaire au tannage permettant la déshydratation des tissus et leur acidification en vue d'assouplir les fibres et dissoudre les protéines « non collagène ». D'après Cuisin, 2004, p.16-17 ; Martin, 2008, *non publié*.

⁵⁴⁰ Un fongicide peut-être ajouté dans les différents bains. Dans ce cas, le Busan 85® (Diméthylthiocarbamate de potassium, $\text{C}_3\text{H}_6\text{KNS}_2$).

⁵⁴¹ Martin, 2008, p.5-6, *non publié*.

⁵⁴² Martin, 2008, p.15-16, *non publié*.

⁵⁴³ Gottini, 25.1.2008, *communication orale* ; Hendry, 1999, p.3 ; Richards, 1994, p.228.

ANNEXE 6 – EXEMPLES DE LISTES DE DEPENSES ET QUITTANCE D'ACHAT DU MJSD

Copie des dépenses du muséum en 1835 mentionnant notamment de la liqueur de Smith
D'après Archi.MJSD, non publié.

1835	Détail des objets.	Depenses	Recettes
	Report d'autre part.....	7. 90	163 65
	achat de deux poires de brunelles (11 moi)	1 20	
	une livre poudre a poudres	70	
	lettre affranchie au Coste du Musée de Besançon	30	
	port de quatre échantillons de géologie		
	des environs de Vitteaux	50	
	un port de lettre envoi de ces échantillons	30	
	lettre affranchie a M ^r Péron en Afrique		
	pour demande d'objets pour le Cabinet (20 août)	30	
	payé pour voyage chez M ^r Moreau		
	Febvre et Loevy pour transport d'objets	"	
	donnés au Cabinet --	3 "	
	payé pour paquet reçu de la Société		
	déclaration des voyages	1 "	
		<u>15 70</u>	
	Du a M ^r Fleurot Pharmacien pour		
	la memoire ci après :		
	un grand bocal et un liege	1 20	
	alcool rectifié trois litres a 2	6	
	un litre liqueur de Smith	3	
	lieges de deux grosseurs	.60	
	Chlorure de chaux deux livres	2 .	
	Du a M ^r Limouet Pharmacien		
	12 bocaux a sel de chopine	4 80	
	12 id de 12 onces	4 80	
	12 flacons blancs opodeldoch 1 ^{er} grand	4 20	
	12 éprouvettes	8 40	
	3 bocaux diverses grandeurs	90	
		<u>23 10</u>	
		<u>51.60</u>	<u>163 65</u>
	Suite porté d'autre part.		

Copie « des dépenses à faire pour l'entretien du museum d'histoire naturelle » en 1837

Y figure, entre autres, du « savon arsenical de Becoeur ». D'après Archi.mun.Dijon, 1837, *non publié*.

Etat approximatif des dépenses à faire pour l'entretien du Museum d'Histoire naturelle année 1837.	
Pour achat de savon arsenical de Becoeur fil de fer blanc camphre-liqueur à l'usage de Schmitt pour la préparation des objets d'Histoire naturelle environ	60 ^{f.}
Pour achat de pinceaux de couleurs pour achever les objets auxquels il manque pour leur non monter que nous possédons aussi que d'autres que nous attendons des promesses que l'on nous fait de toute part notamment d'Espagne, de la Martinique, de l'Inde et des états unis - environ pour environ	250
Pour achat de papiers coton fil et et fil et environ	30
Pour achat d'alcool pour conserver les corps mous tels que, mollusques, reptiles, poissons et vers	30
Pour achat de flacons bouchons et bouches	60
Pour achat de papiers à insectes environ	10
Pour achat de Chassis vitrés à charnières avec lattes en verre pour placer toute la Conchyliologie et la Classe méthodiquement	200
Pour boîtes à insectes et papillons avec charnières et fond de liège pour Classer méthodiquement les nombreuses collections	150
Pour achat d'acides et divers produits chimiques pour analyses des minéraux, couleurs etc pour la préparation de divers objets	30
	<u>820</u>



422

Copie d'une quittance d'achat pour des boules de naphtaline en 1905

D'après Archi.MJSD, non publié.

HISTOIRE NATURELLE-ANATOMIE-MICROGRAPHIE-LIBRAIRIE
MOBILIER & MATÉRIEL SCOLAIRES — SCIENCES PHYSIQUES
MONTAGE ET PRÉPARATION ARTISTIQUES D'ANIMAUX

Maison ÉMILE DEYROLLE

LES FILS D'ÉMILE DEYROLLE, Successeurs **DÉBITÉ**
MAGASINS: 46, Rue du Bac, PARIS (7^e Arr^t) TÉLÉPHONE 729.27
 USINE A VAPEUR, 9, RUE CHANEZ, PARIS (16^e Arr^t)
 Adresse télégraphique "ELORVED-PARIS"

EXPOSITION UNIVERSELLE PARIS 1900
 GRAND PRIX

Doit ~~MM~~ *Musée d'Histoire Naturelle*
de la Ville à l'Arquebuse à Dijon

MOD. M. N. 10056 Paris, le *21/11* 190*5* *cote d'or*

100 Boules napht. Loi du 23 août 1871 — Timbre *4.71/7.* *23.75*
postal dom. *" 85*

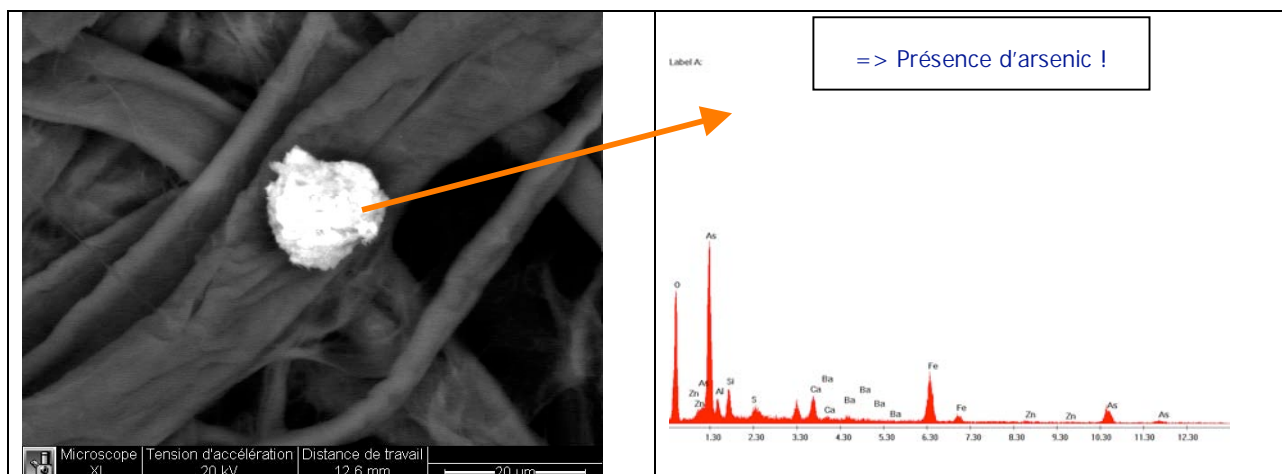
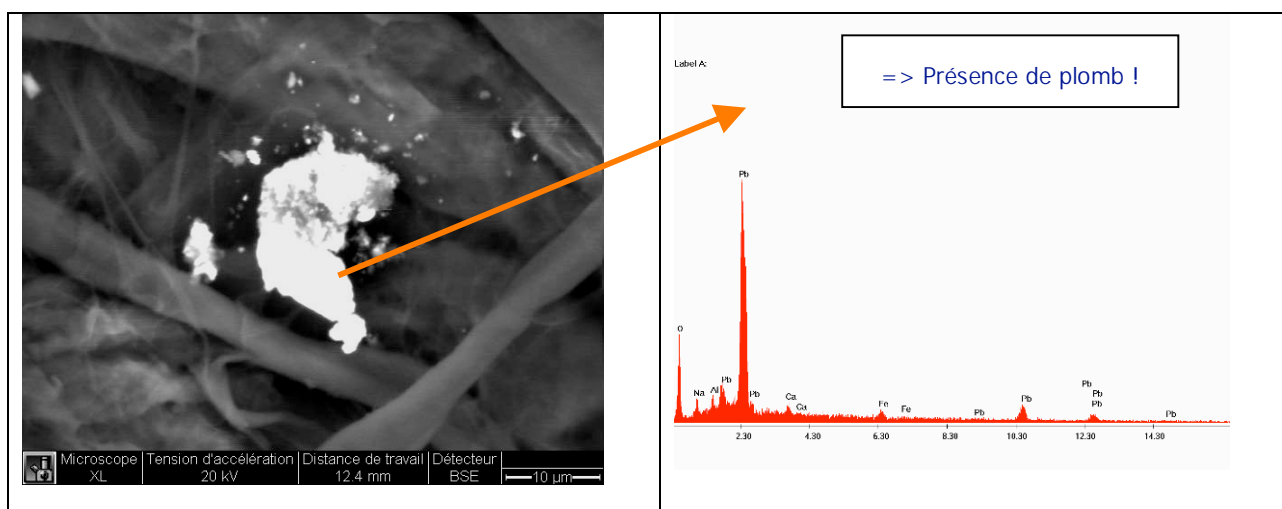
24.60
60
29.20

Payé

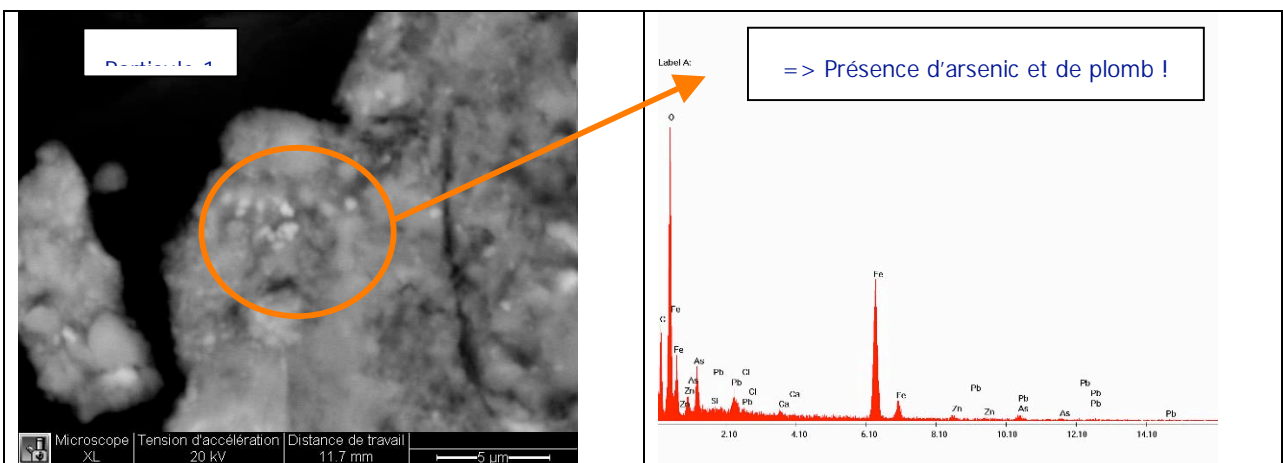
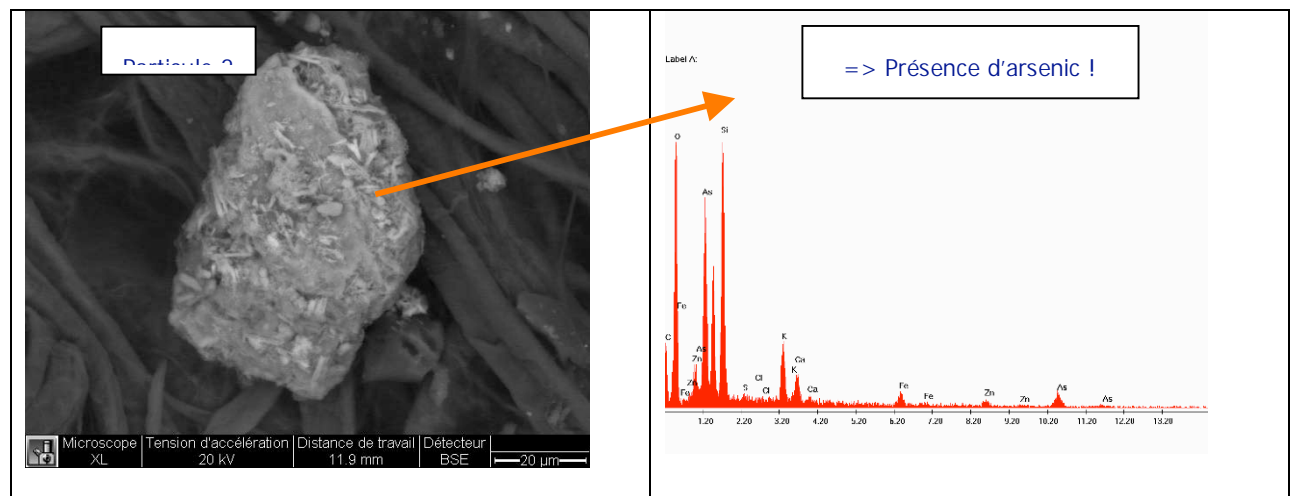
ANNEXE 7 – RESULTATS D'ANALYSES DE POUSSIÈRES

Extraits des résultats présentés dans le document de FILAB (2008, *non publié*).

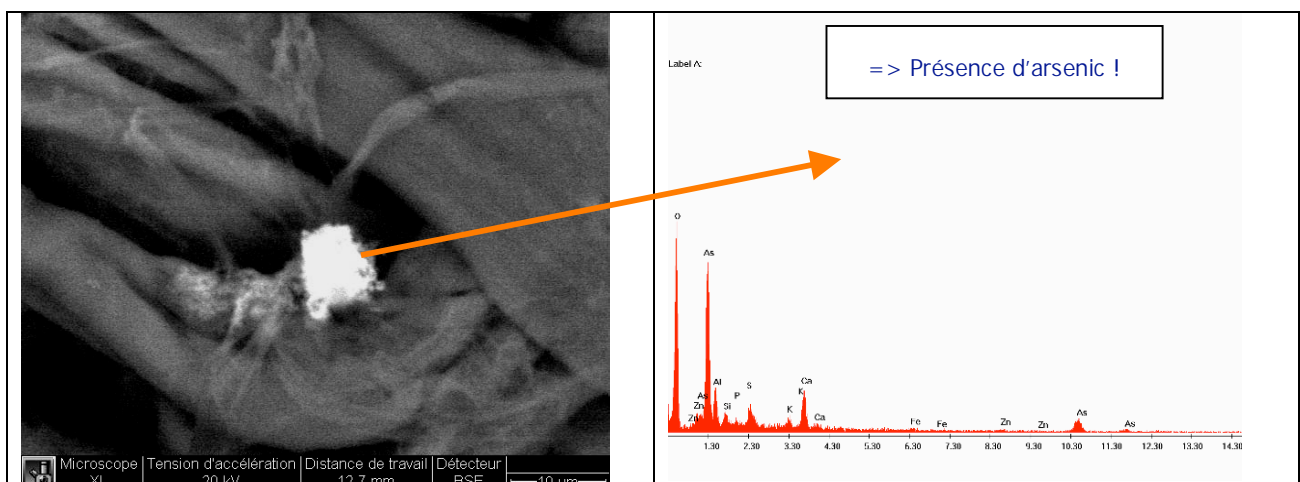
Poussières sur un geai de 1830

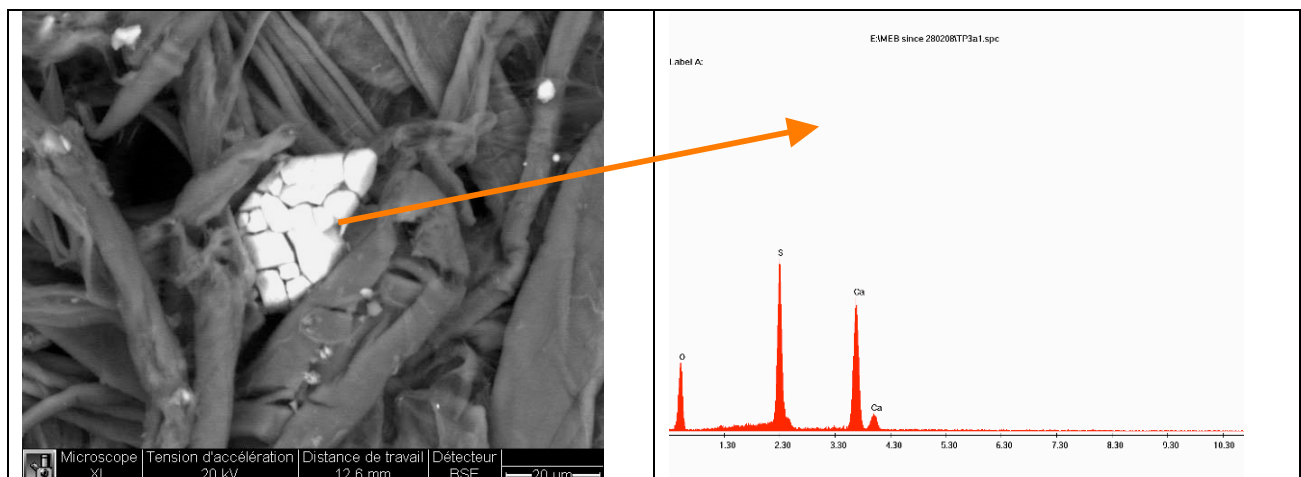


Poussières sur le socle d'un geai de 1830

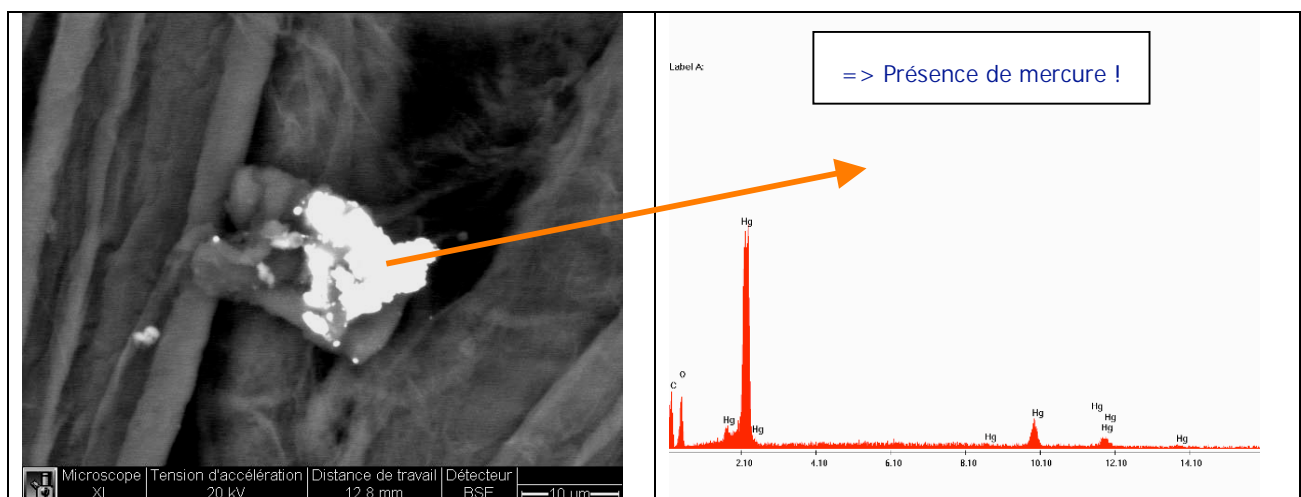


Poussières sur un geai du début du XXe siècle

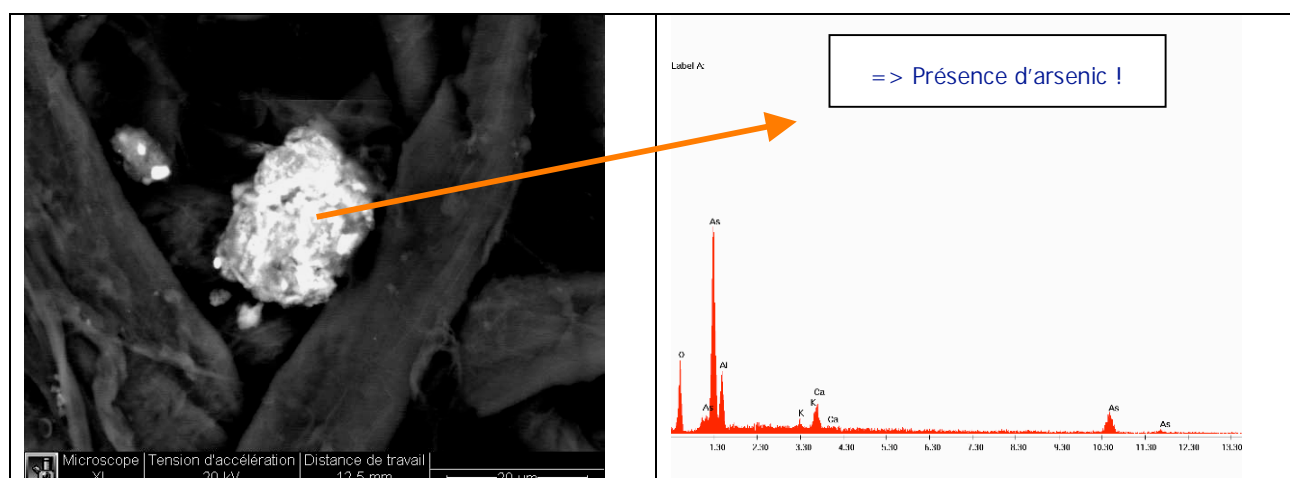




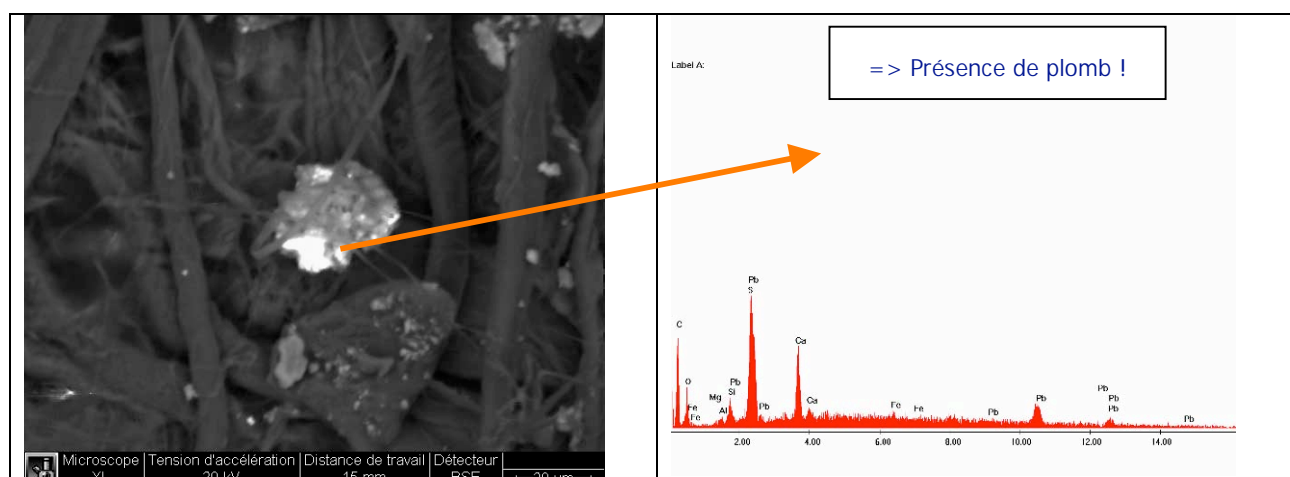
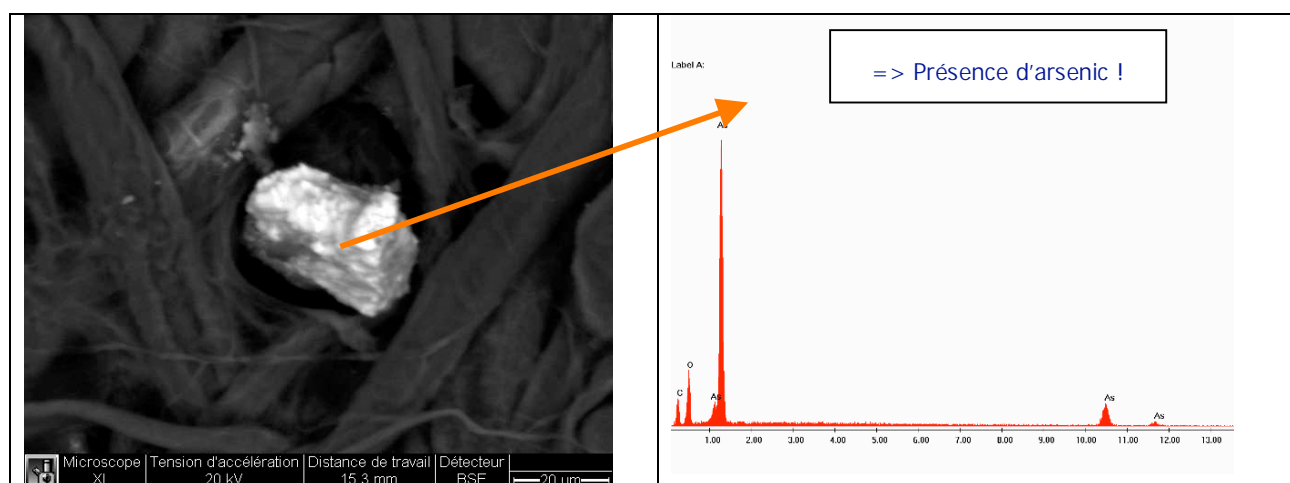
Poussières sur le socle d'un geai du début du XXe siècle



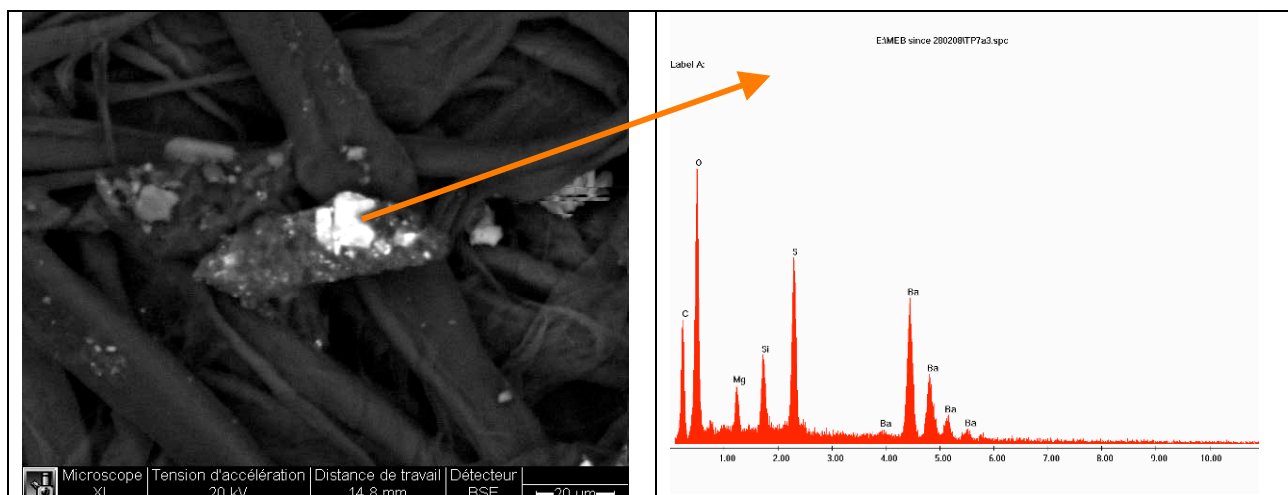
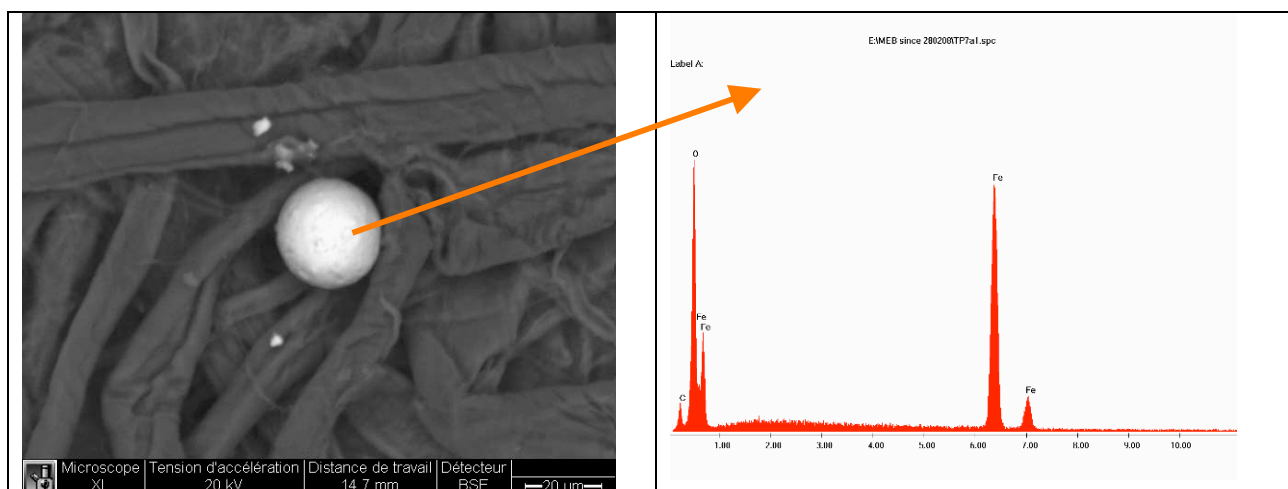
Poussières sur un faisan des années 1990



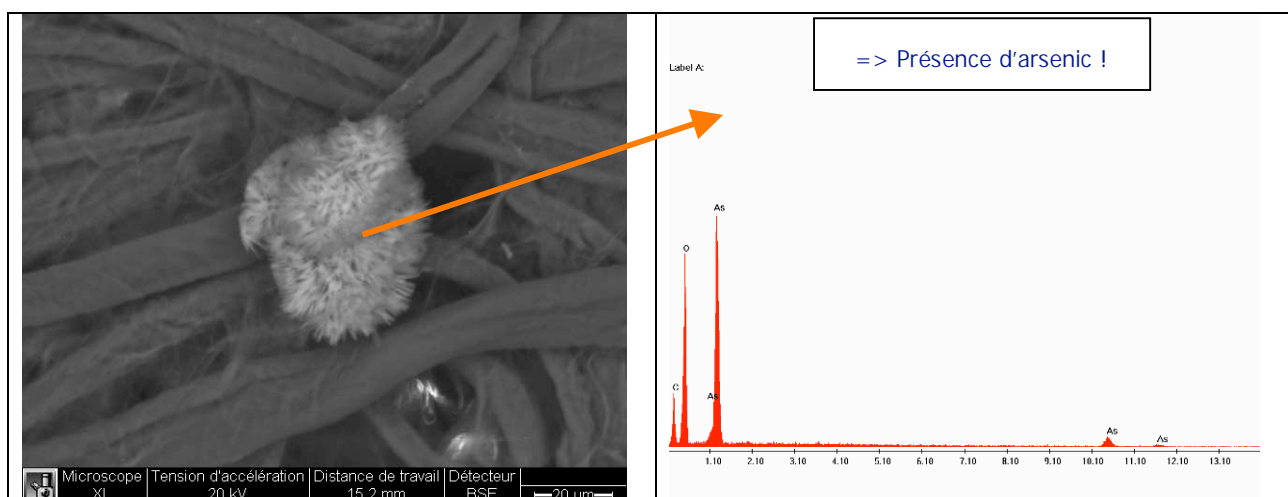
Poussières sur le socle d'un faisan des années 1990

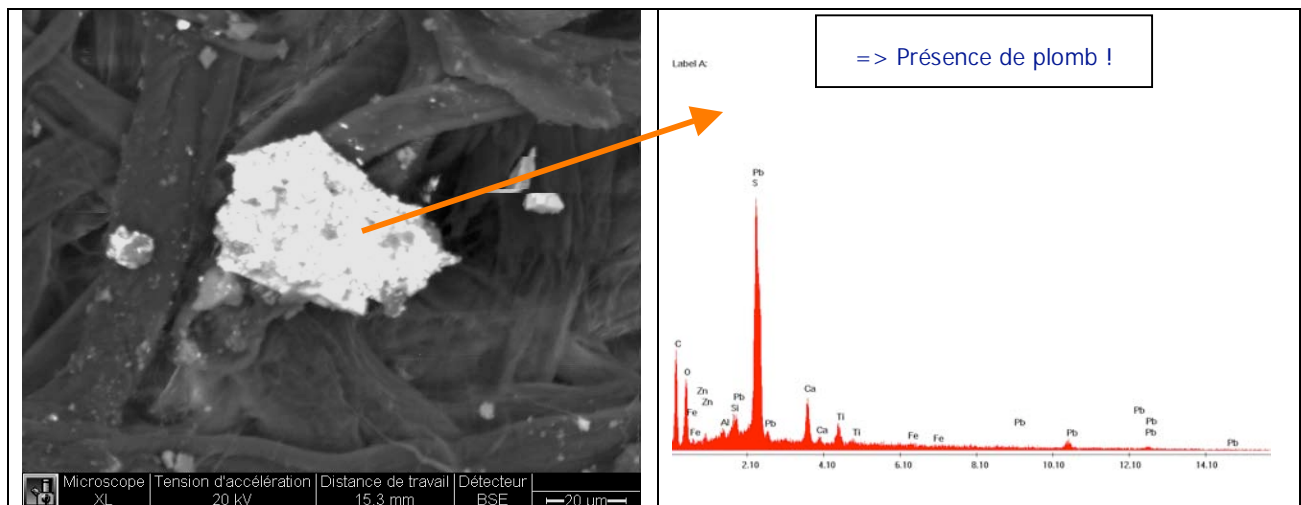


Poussières sur l'étagère de stockage des geais



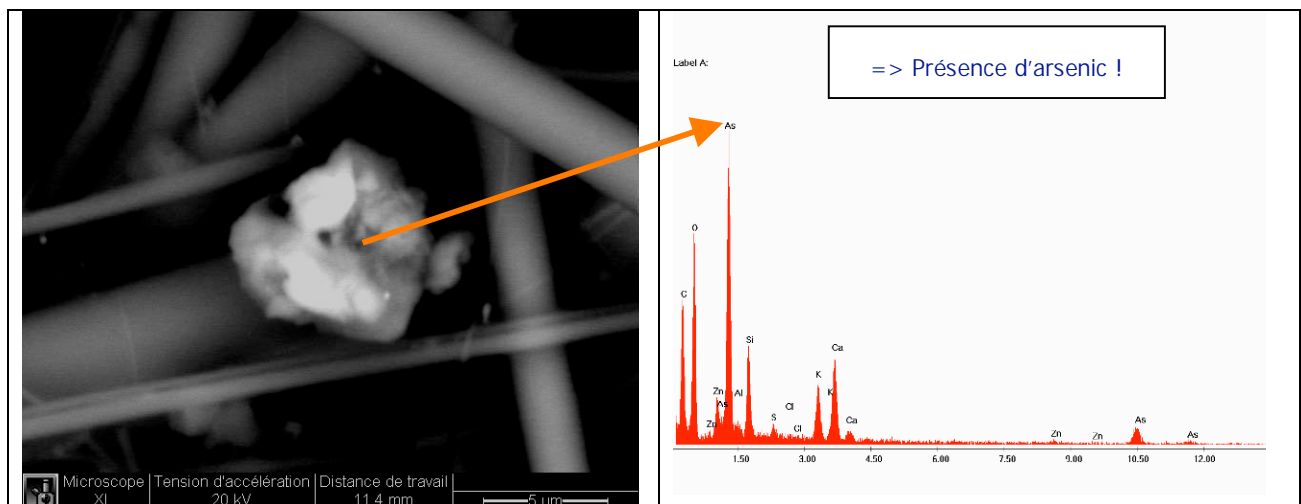
Poussières sur la table de travail des réserves mammifères-oiseaux

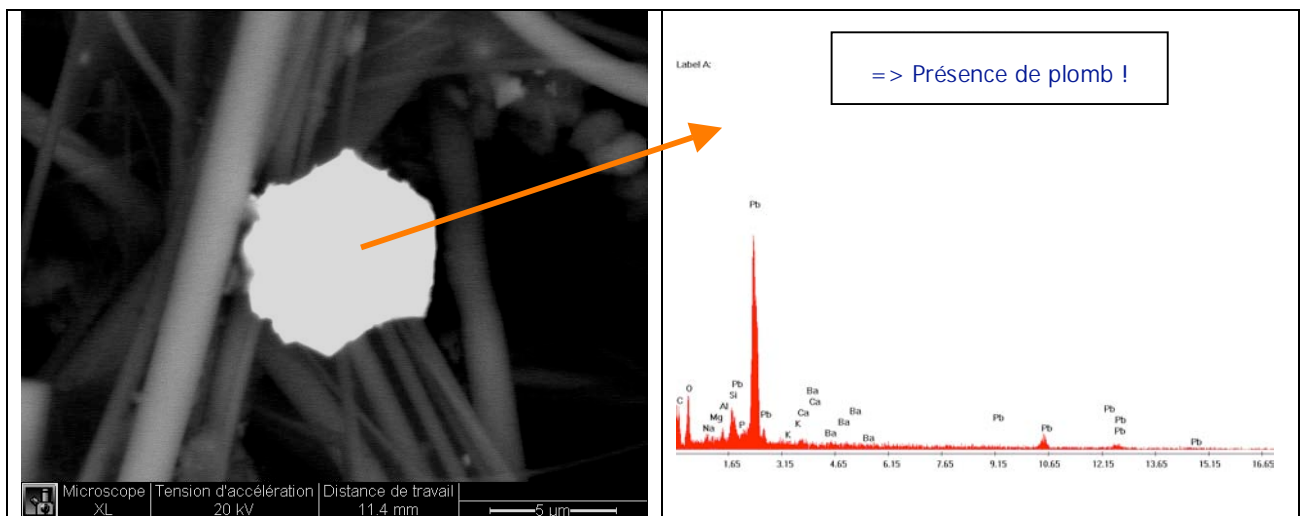




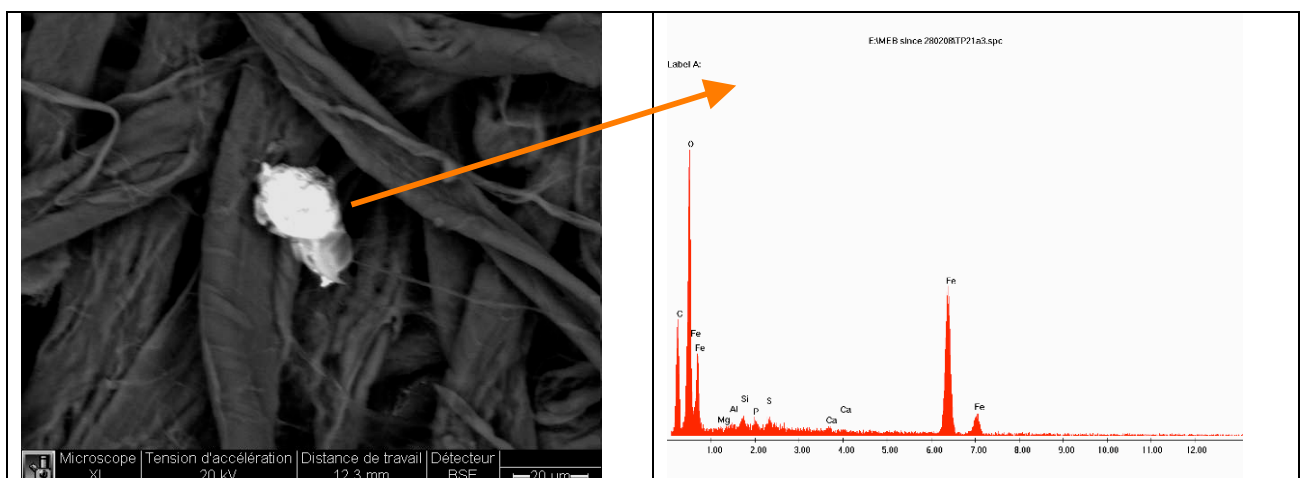
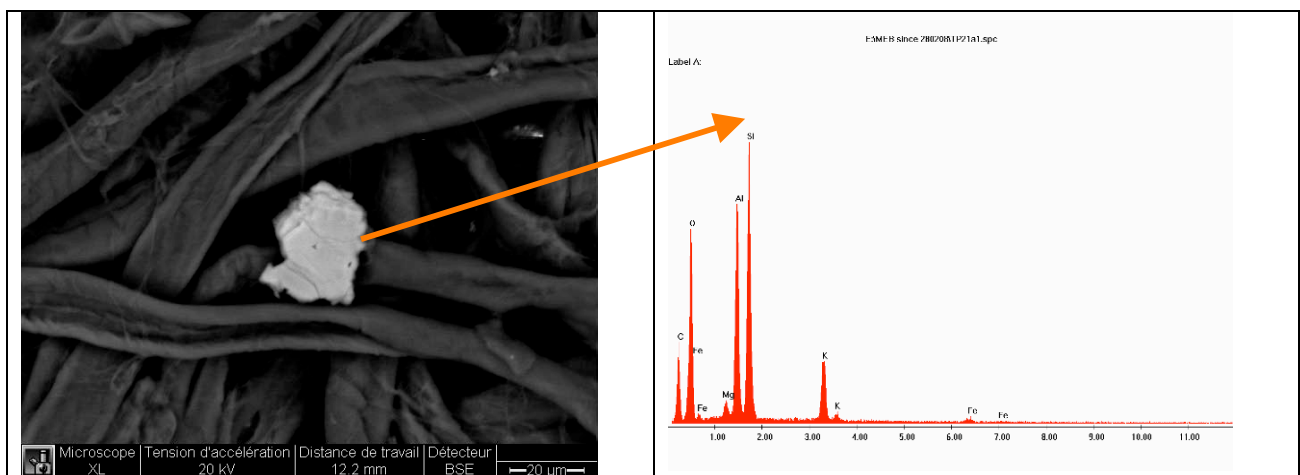
Poussières dans un filtre HEPA

(dépoussiérage d'une vingtaine de spécimens en vitrines – oiseaux et mammifères)

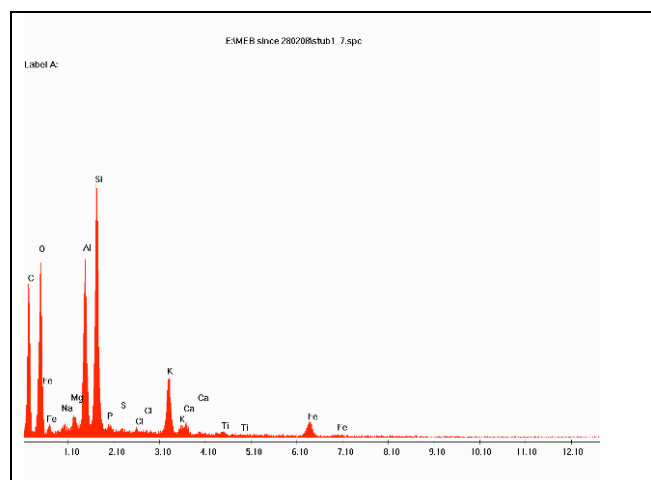




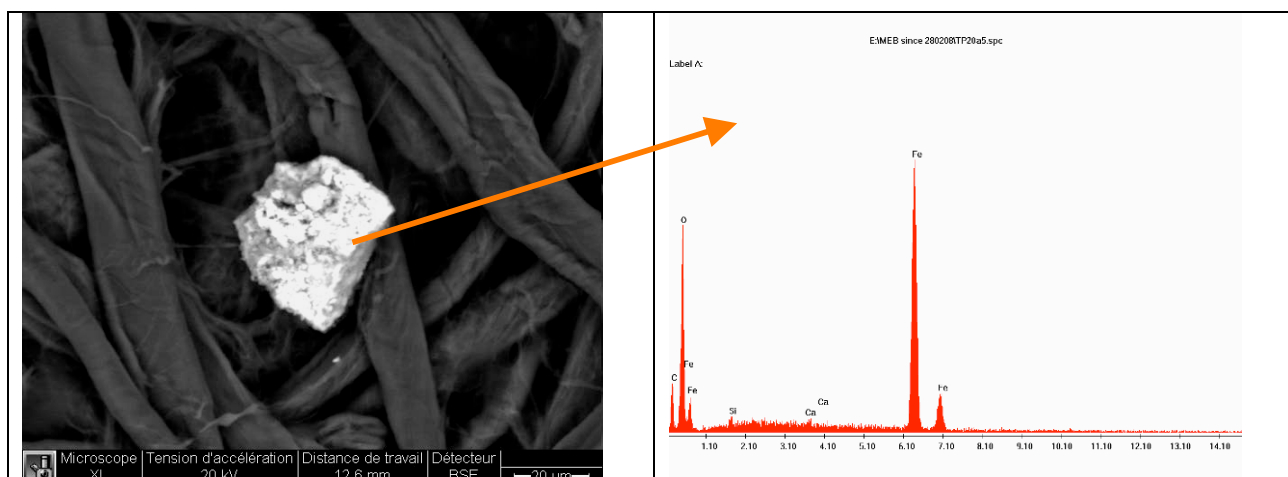
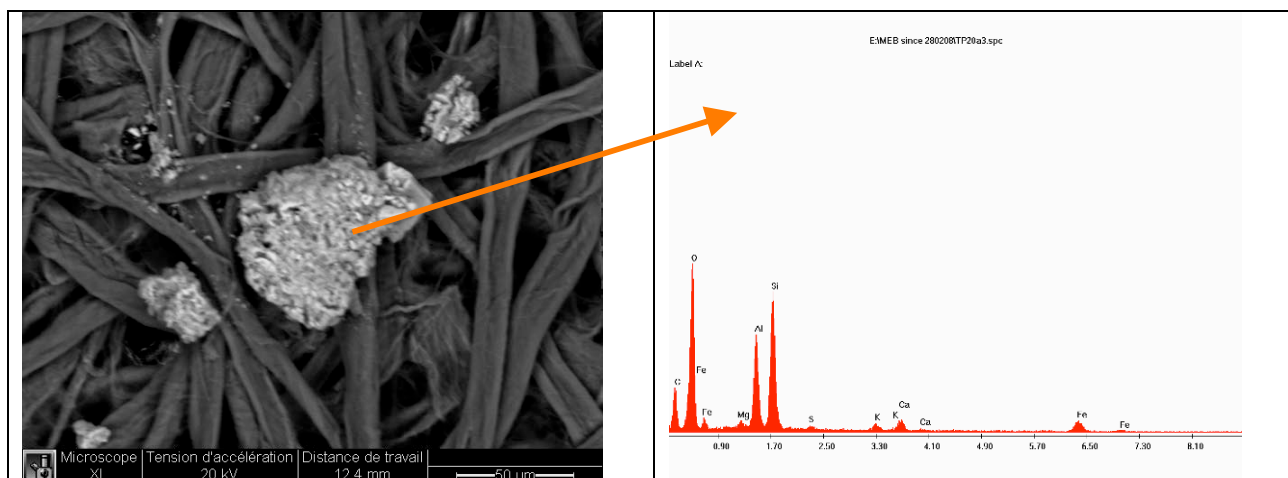
Poussières sur le papier de montage d'une planche de l'herbier de Bottemer (1936)



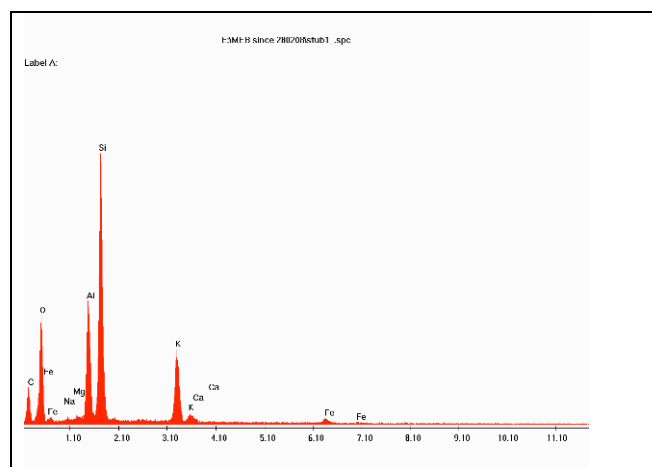
Fragment d'un spécimen de l'herbier de Bottemer (1936)



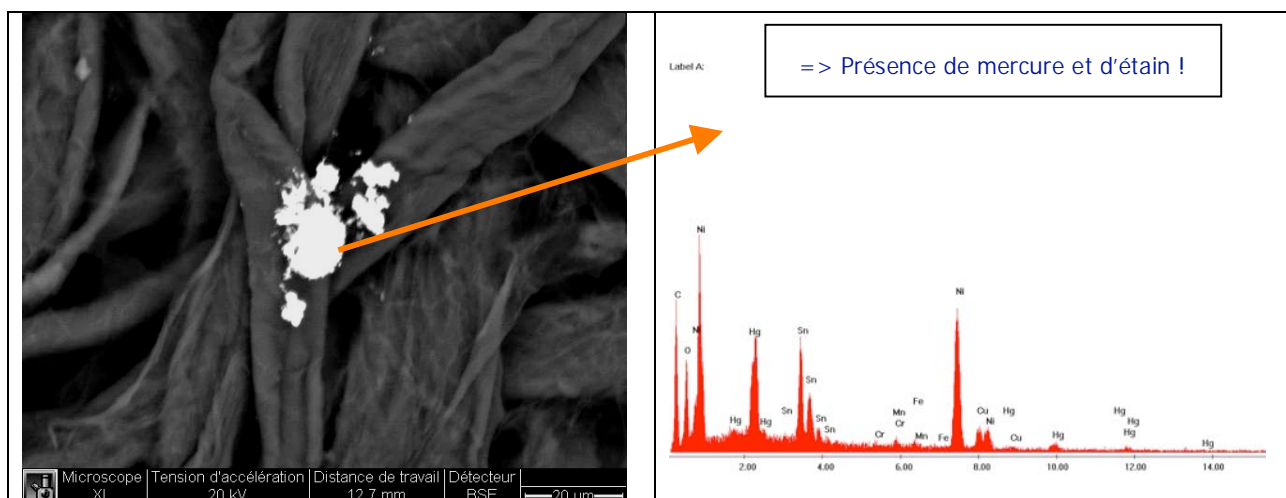
Poussières sur le papier de montage d'une planche de l'herbier de Chamberet (1911)

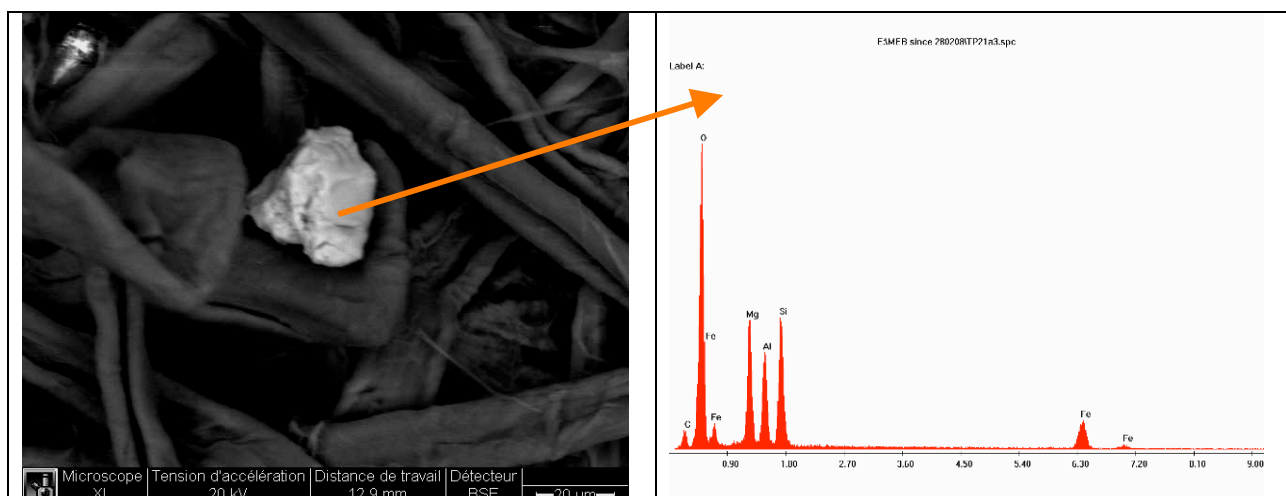


Fragment d'un spécimen de l'herbier de Chamberet (1911)

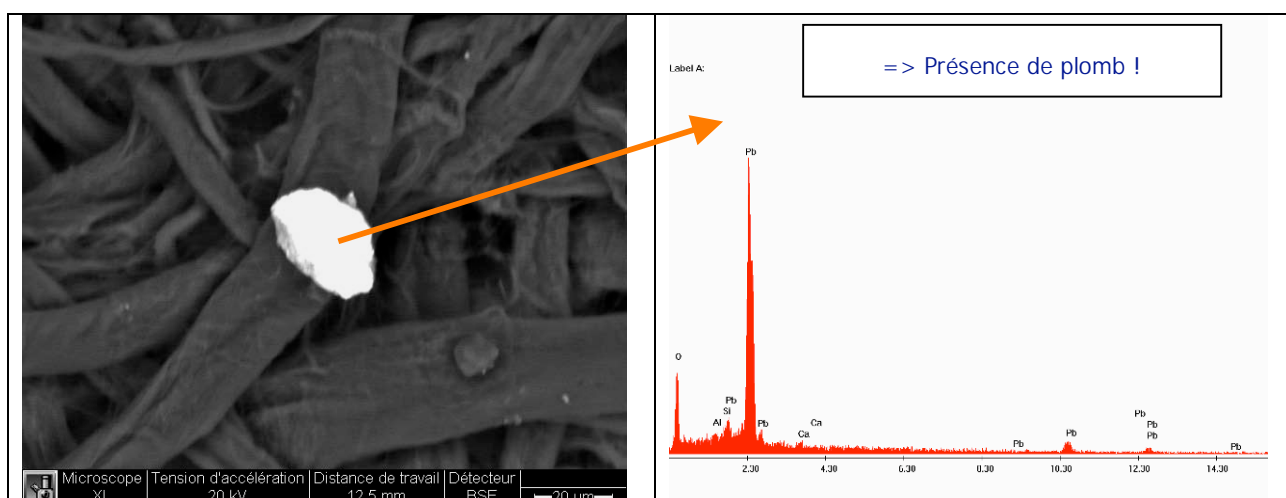
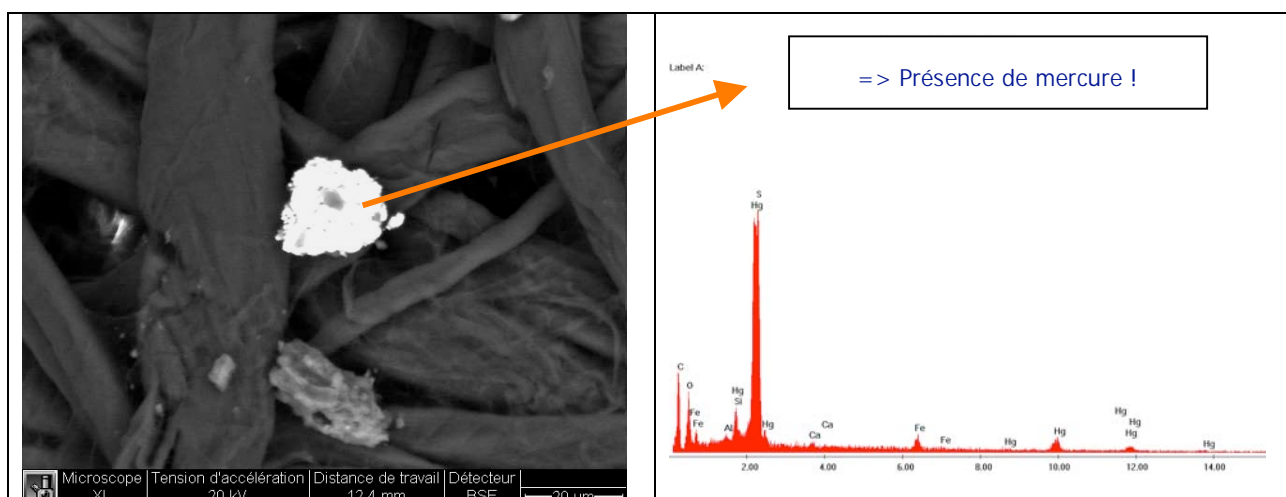


Poussières sur l'étagère de stockage de l'herbier Poincot (à proximité du carton-livre contenant la liasse n°584)

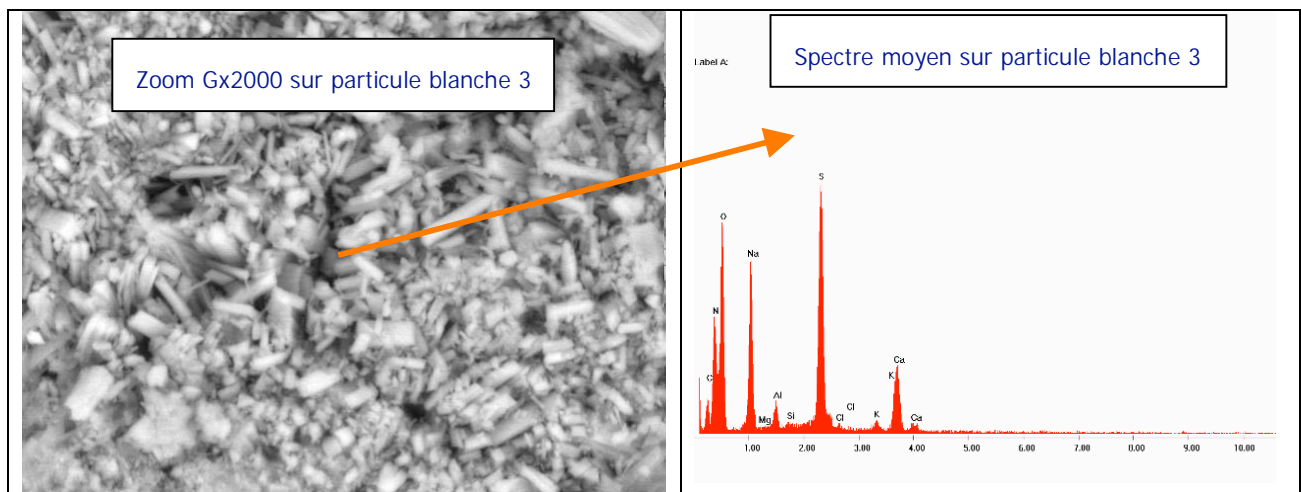




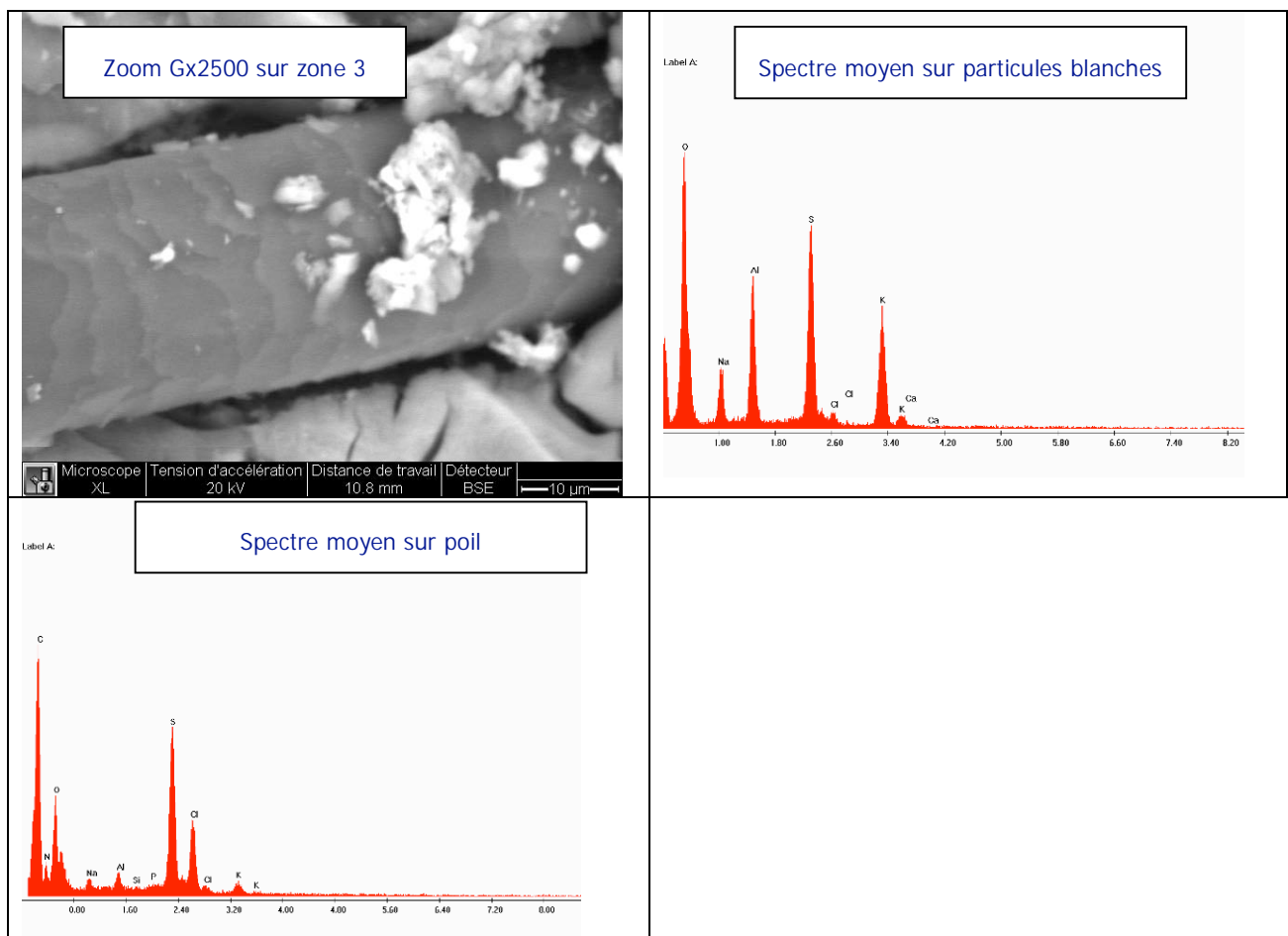
Poussières sur la table de travail des réserves herbiers



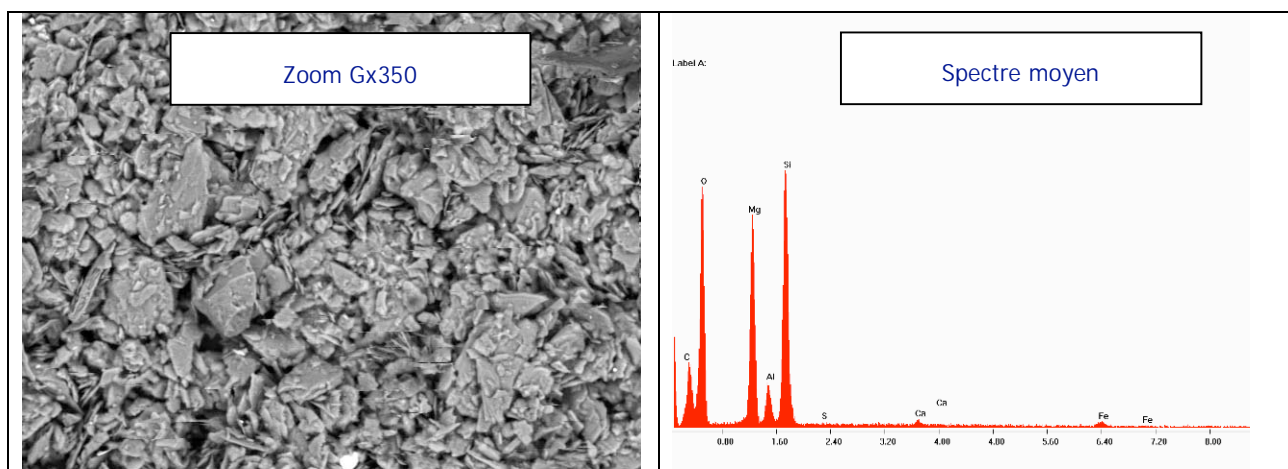
Dépôt blanc poudreux autour des yeux d'un chat des années 1980



Dépôt blanc poudreux sur la patte d'un chat des années 1980



Dépôt blanc poudreux sur l'herbier de Leiris



ANNEXE 8 – DONNEES ET RESULTATS D'ANALYSES DE LA QUALITE DE L'AIR

Tableau des mesures de température (°C) et d'humidité relative (%)
(en début et fin de prélèvement)

n°1-4 : fibres SPME pour l'analyse de COV

n°5-10 : tubes à échantillons « LpDNPH S10 » pour l'analyse d'aldéhydes

N° du prélèvement	Date	Heure début	T. portable ⁵⁴⁴		T. fixe ⁵⁴⁵		Heure fin	T. portable		T. fixe	
			T°	HR	T°	HR		T°	HR	T°	HR
1. réserves entomologie	14.05.08	8h	20,9	48,7	20,1	49,4	9h	20,9	49,8	20,1	49,4
2. laboratoire entomologie	09.05.08	10h10	24,7	43,0	-	-	11h10	24,6	43,1	-	-
3. réserves mammifères-oiseaux	09.05.08	9h30	21,0	46,3	19,6	50,1	10h30	21,4	44,7	19,5	49,5
4. réserves herbiers	09.05.08	9h45	22,5	54,5	21,3	57,3	10h45	22,4	54,1	21,3	57,2
5. cabinet curiosité	13.05.08	8h30	21,3	50,5	-	-	12h30	23,3	48,5	-	-
6. vitrine cabinet curiosité	13.05.08	12h35	23,3	48,5	22,4	47,0	16h35	24,0	45,2	23,4	45,0
7. réserves mammifères-oiseaux	09.05.08	9h30	21,0	46,3	19,6	50,1	13h30	20,7	48,3	19,6	50,3
8. bureau entomologie	15.05.08	10h30	23,6	43,5	-	-	14h30	24,2	43,1	-	-
9. réserves entomologie	14.05.08	8h	20,9	48,7	20,1	49,4	12h	21,0	51,2	20,1	49,8
10. tube témoin (cabinet curiosité, sans pompe)	13.05.08	12h35	23,3	48,5	-	-	16h35	24,0	45,2	-	-

Remarques : durant le prélèvement n°2, deux personnes effectuaient du travail de bureau dans cette pièce et durant le prélèvement n°8, une personne travaillait dans cette pièce durant une partie du temps (pause de 12h à 14h). Elle a principalement effectué des travaux de bureau, mais durant 10 minutes environ a également ouvert une boîte d'insectes contenant des résidus d'acétate d'éthyle.

Les prélèvements n°5 et n°6 ont été effectués le jour de fermeture du musée au public.

⁵⁴⁴ Thermohygromètre portable.

⁵⁴⁵ Thermohygromètres enregistreurs placés de manière fixe dans les réserves et vitrines d'exposition. Ces appareils n'ont pas été calibrés depuis une année.

Résultats des analyses de COV et d'aldéhydes

Rapport d'analyse

N. réf:	Cong Khanh Huynh
V. réf:	Aude-Laurence Pfister
Concerne:	Jardin des Sciences de Dijon
Type d'analyses demandées:	Formaldéhyde, VOC
Nombre d'échantillons:	5 (aldéhydes) et 4 (VOC) - total: 9
Type d'échantillons:	LpDNPH, fibres SPME
Date de réception:	23.05.2008
Date des analyses:	27-29.05.2008
Analyses effectuées par:	Philippe Boiteux

Résultats

Tableau 1: concentration des VOC

No échantillon client	1	2	3	4 *
Lieu de prélèvement	Réserves entomologie Etagère	Bureau entomologie Table travail	Réserves mam-oiseaux Table travail	Réserves herbiers Etagère
Type échantillon	SPME	SPME	SPME	SPME
Produits	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³
Benzène	11.8	0.7	nd	
Toluène	16.3	14.1	9.5	
Ethylbenzène	22.7	17.2	0.6	
m+p-Xylène	16.4	11.9	0.8	
o-Xylène	0.5	4.7	0.4	
Isopropylbenzène	nd	trace	nd	
Propylbenzène	0.2	0.7	0.1	
1,3,5-Triméthylbenzene	0.1	0.5	0.1	
Phénol	trace	nd	nd	
1,3,4-Triméthylbenzene	0.7	3.3	0.5	
1,2-Diéthylbenzene	0.2	0.5	0.1	
Naphthalène	2.2	1.4	0.4	

*: Echantillon perdu - perte informatique lors de l'acquisition des données

Tableau 2: Concentration des aldéhydes

No échantillon client	5	6	7	8	9
Lieu de prélèvement	Cabinet curiosité Centre pièce	Cabinet curiosité Intérieur vitrine	Réserves mam-oiseaux Table travail	Bureau entomologie Table travail	Réserves entomologie Etagère
Type échantillon	LpDNPH	LpDNPH	LpDNPH	LpDNPH	LpDNPH
Produits	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Formaldéhyde	47	169	83	68	67
Acétaldéhyde	4	7	16	23	21
Acroléine	nd	nd	nd	nd	nd
Acétone	8	8	67	127	153
Glutaraldéhyde	nd	nd	nd	nd	nd

nd: produit non détecté ou plus bas que la limite de quantification (40 ng/Ech)

Exposition pour le Formaldéhyde

Proposition de Valeurs Guides de qualité d'Air Intérieur (VGAI)

VGAI pour une exposition court terme de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur 2 heures

VGAI pour une exposition long terme à $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$

World Health Organization, 1989

OMS pour une exposition indoor de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$

OMS pour une exposition indoor pour personne sensible de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Méthodes d'analyses

1) Analyse des VOC par GC-MS

2) Analyse des aldéhydes par HPLC avec détection UV

Lausanne, le 30 mai 2008

Cong Khanh Huynh, Dr ès sc.

Chef de groupe "Développement analytique"

Des informations concernant les procédures utilisées, les domaines d'incertitude des méthodes ainsi que les résultats des contrôles de qualité internes ou externes peuvent être obtenues sur demande. Les résultats présentés ci-dessus ne concernent que les échantillons ou prélèvements mentionnés.

L'utilisation généralisée ou abusive des résultats est sous la responsabilité du demandeur.

Tableau des VLE et VME des produits analysés

D'après : INRS. *Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France. Aide-mémoire technique ED 984*. INRS, Paris, 2006.

— pas d'information disponible actuellement

Produits	N° CAS	VME		VLE		CMR
		ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³	
Benzène	71-43-2	1	3.25	—	—	C1, M2
Toluène	108-88-3	100	375	150	550	R3
Ethylbenzène	100-41-4	100	442	200	884	—
m-xylène	108-38-3	50	221	100	442	—
p-xylène	106-42-3	50	221	100	442	—
o-xylène	95-47-6	50	221	100	442	—
Isopropylbenzène	98-82-8	20	100	50	250	—
Propylbenzène	74296-31-4	—	—	—	—	—
1,3,5-Triméthylbenzene	108-67-8	20	100	—	—	—
Phénol	108-95-2	2	7,8	—	—	—
1,3,4-Triméthylbenzene	95-63-6	20	100	—	—	—
1,2-Diéthylbenzene	100-41-4	100	442	200	884	—
Naphthalène	91-20-3	10	50	—	—	C3
Formaldéhyde	50-00-0	En cours de révision				
Acétaldéhyde	75-07-0	100	180	—	—	C3
Acroléine	107-02-8	—	—	0,1	0,25	—
Acétone	67-64-1	500	1210	—	—	—
Glutaraldéhyde	111-30-8	0,1	0,4	0,2	0,8	—